



TESIS- RE142541

**PEMANFAATAN ZEOLIT DAN SILIKA SEBAGAI
MEMBRAN FILTRASI UNTUK MENURUNKAN TSS,
COD DAN WARNA LIMBAH CAIR BATIK**

**NOVEN PRAMITASARI
3314201027**

**DOSEN PEMBIMBING
Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D.**

**PROGRAM MAGISTER
TEKNIK LINGKUNGAN
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



THESIS- RE142541

UTILIZATION OF ZEOLITE AND SILICA AS MEMBRANE FILTRATION TO REDUCE TSS, COD AND COLOUR IN BATIK WASTEWATER

**NOVEN PRAMITASARI
3314201027**

**SUPERVISOR
Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D.**

**MASTER PROGRAME
ENVIRONMENTAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND PLANNING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

Di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Noven Pramitasari

NRP. 3314 201 027


Tanggal Ujian : 12 Januari 2016

Periode wisuda : Maret 2016

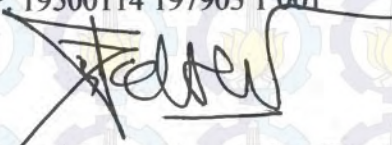
Disetujui Oleh :


Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19770209 200312 2 001


(Pembimbing)


Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, MSc.
NIP. 19500114 197903 1 001

(Penguji)


Ir. Eddy S. Soedjono, Dipl. SE., MSc., Ph.D.
NIP. 19600308 198903 1 001

(Penguji)


Harmin Sulistiyaning Titah, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19750523 200212 2 001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,


Prof. Dr. Djaula Manfaat, MSc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001



PEMANFAATAN ZEOLIT DAN SILIKA SEBAGAI MEMBRAN FILTRASI UNTUK MENURUNKAN TSS, COD DAN WARNA PADA LIMBAH CAIR BATIK

Nama Mahasiswa : Noven Pramitasari

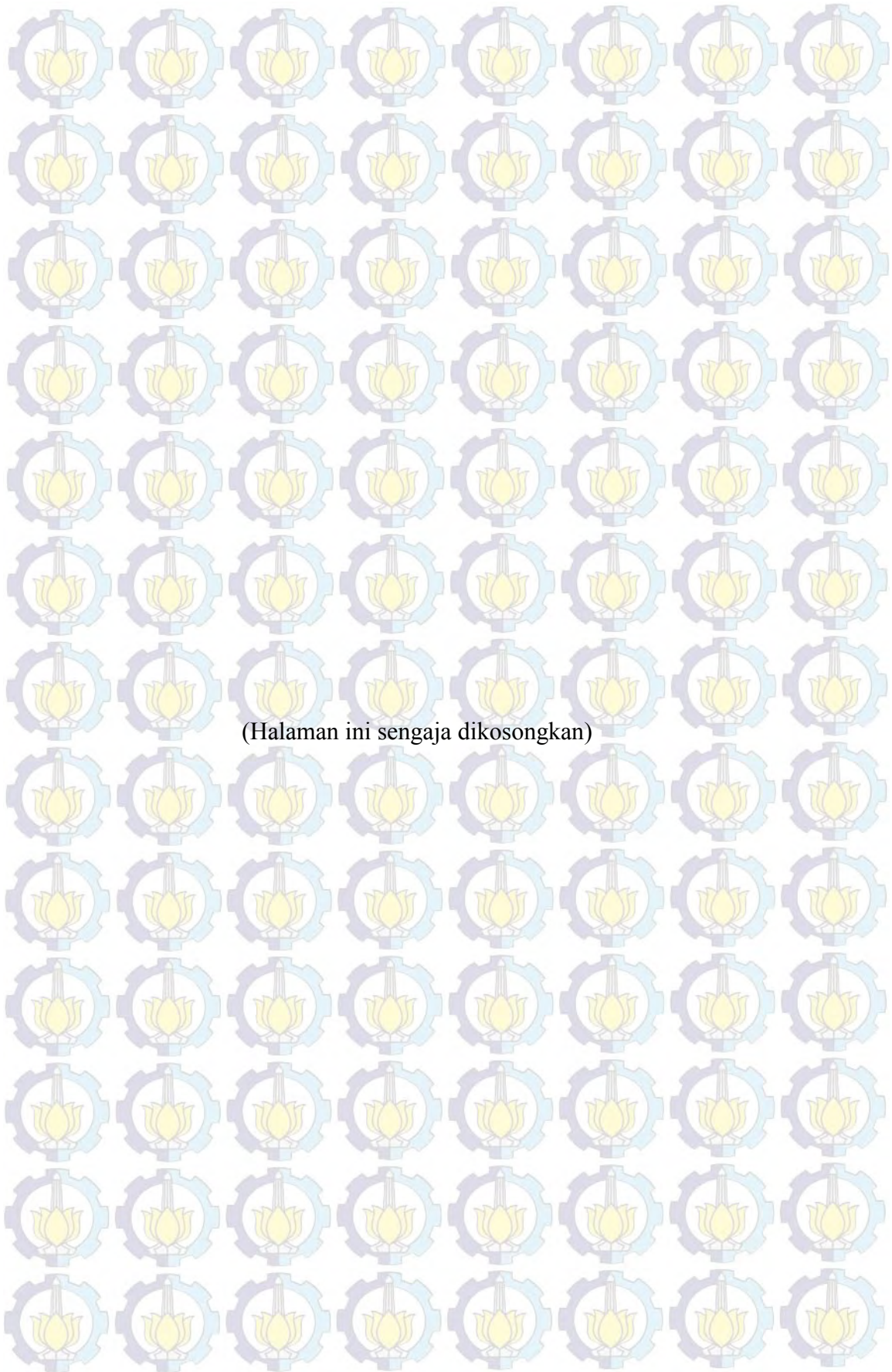
NRP : 3314201027

Pembimbing : Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Salah satu penyebab pencemaran badan air adalah pembuangan limbah cair industri yang tidak sesuai dengan baku mutu secara langsung ke badan air. Salah satu industri yang menghasilkan limbah cair adalah industri batik. Industri batik yang merupakan industri tekstil memiliki kadar *total suspended solid* (TSS), *chemical oxygen demand* (COD) dan warna yang memerlukan pengolahan sebelum dibuang ke badan air. Salah satu teknologi pengolahan adalah menggunakan membran filtrasi. Untuk memperkecil biaya pembuatan membran dan meningkatkan masa pakai membran filtrasi maka digunakan zeolit dan silika sebagai bahan pembuat membran. Variabel penelitian ini adalah perbandingan massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge* pada pembuatan membran dan konsentrasi limbah cair batik yang akan diolah. Pengujian kinerja membran dilakukan dengan reaktor *cross flow* untuk meminimalkan biaya operasi sedangkan karakterisasi membran dilakukan dengan menggunakan uji *scanning electron microscope* (SEM), *energy dispersif x-ray* (EDX) dan kuat tarik. Analisa penelitian menggunakan data parameter penelitian yaitu TSS, COD dan warna, nilai rejeksi dan nilai fluks membran. Nilai rejeksi TSS, COD dan warna pada membran dengan massa penambahan silika 3%, 600 RPM dan konsentrasi limbah 100% adalah 89,9 %; 72,86 % dan 92,68% sedangkan penurunan nilai fluks terkecil diperoleh pada membran dengan massa penambahan silika 3%, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan pengujian pada konsentrasi limbah cair batik 75% sebesar 1-7%. Membran dengan nilai rejeksi yang paling besar dan penurunan nilai fluks yang paling kecil adalah membran dengan massa penambahan silika 3% dan kecepatan *centrifuge* 600 rpm.

Kata Kunci: Membran, zeolit, silika, limbah dan *cross flow*.



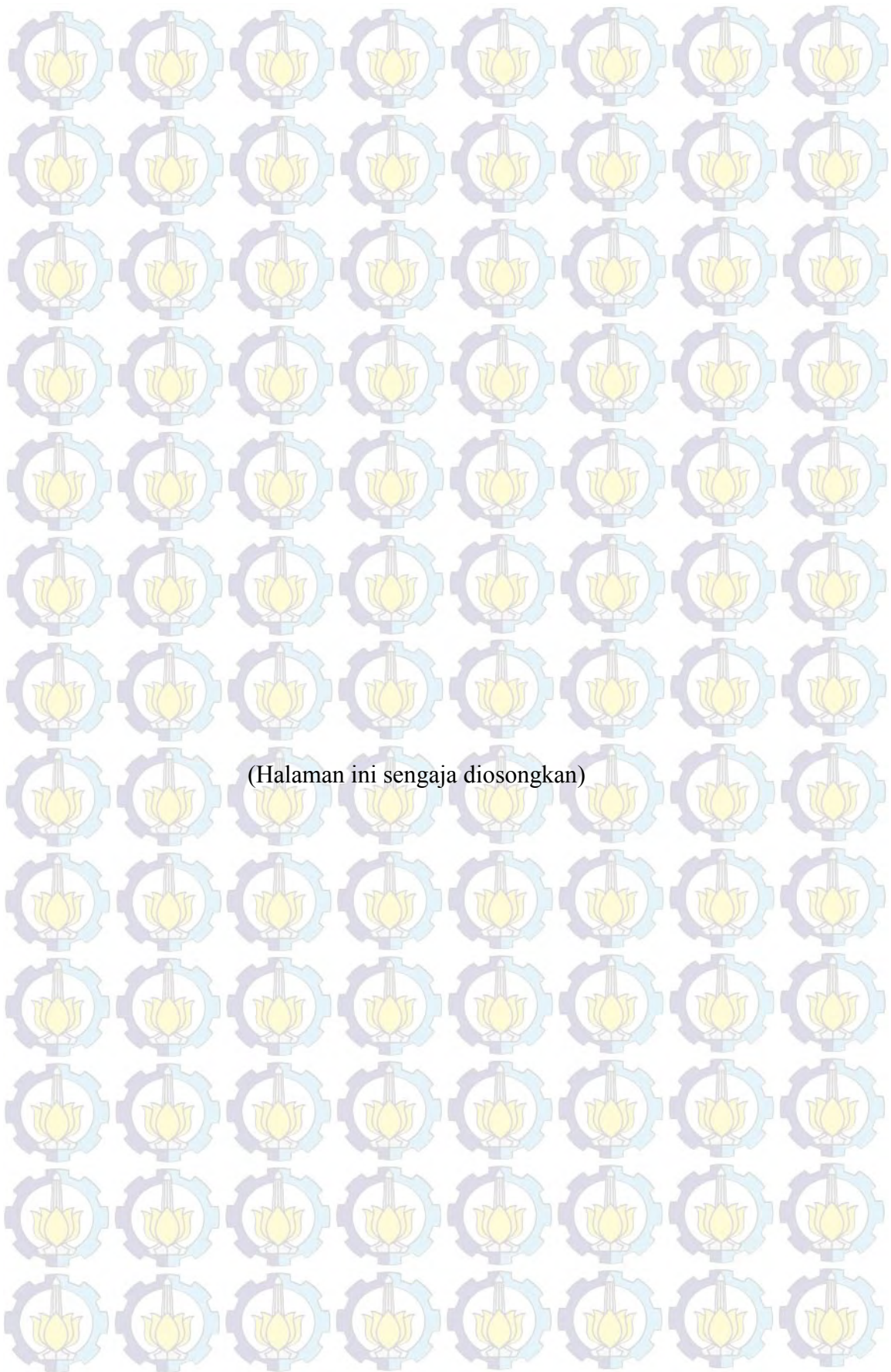
UTILIZATION OF ZEOLITE AND SILICA AS MEMBRANE FILTRATION TO REDUCE TSS, COD AND COLOUR IN BATIK WASTEWATER

Name : Noven Pramitasari
NRP : 3314201027
Supervisor : Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

One of the causes of surface water pollution is industrial wastewater disposal directly into water bodies. One of the industries that produce wastewater is batik industry. Batik industry is the textile industry had higher levels of total suspended solid (TSS), chemical oxygen demand (COD) and colors that require treatment before being discharged into surface water. One such technology is membrane filtration. To minimize the cost of making the membrane and increase the lifetime of the membrane filtration then used zeolites and silica as the material for the membrane. The variables of this study is the mass of addition silica, centrifugation speed in the manufacture of the membrane and the concentration of batik wastewater. Testing the performance of the membrane is done with cross flow reactor to minimize operating costs while membrane characterization performed using scanning electron microscope (SEM), energy dispersif x-ray (EDX) test and tensile strength. Analysis of research studies using the data parameter is TSS, COD and color, rejection and flux value of membrane. Rejection value of TSS, COD and color on the membrane with a mass addition of silica 3%, 600 RPM and 100% effluent concentration is 89,9%; 72,86% and 92,68%, while the smallest decrease in the flux values obtained in the membrane with the addition of silica 3% mass, centrifugation speed of 600 rpm and testing on effluent concentration batik 75% of 1-7%. Membrane with a rejection of the greatest value and impairment of the smallest flux is membrane with a mass addition of 3% silica and centrifugation speed of 600 rpm.

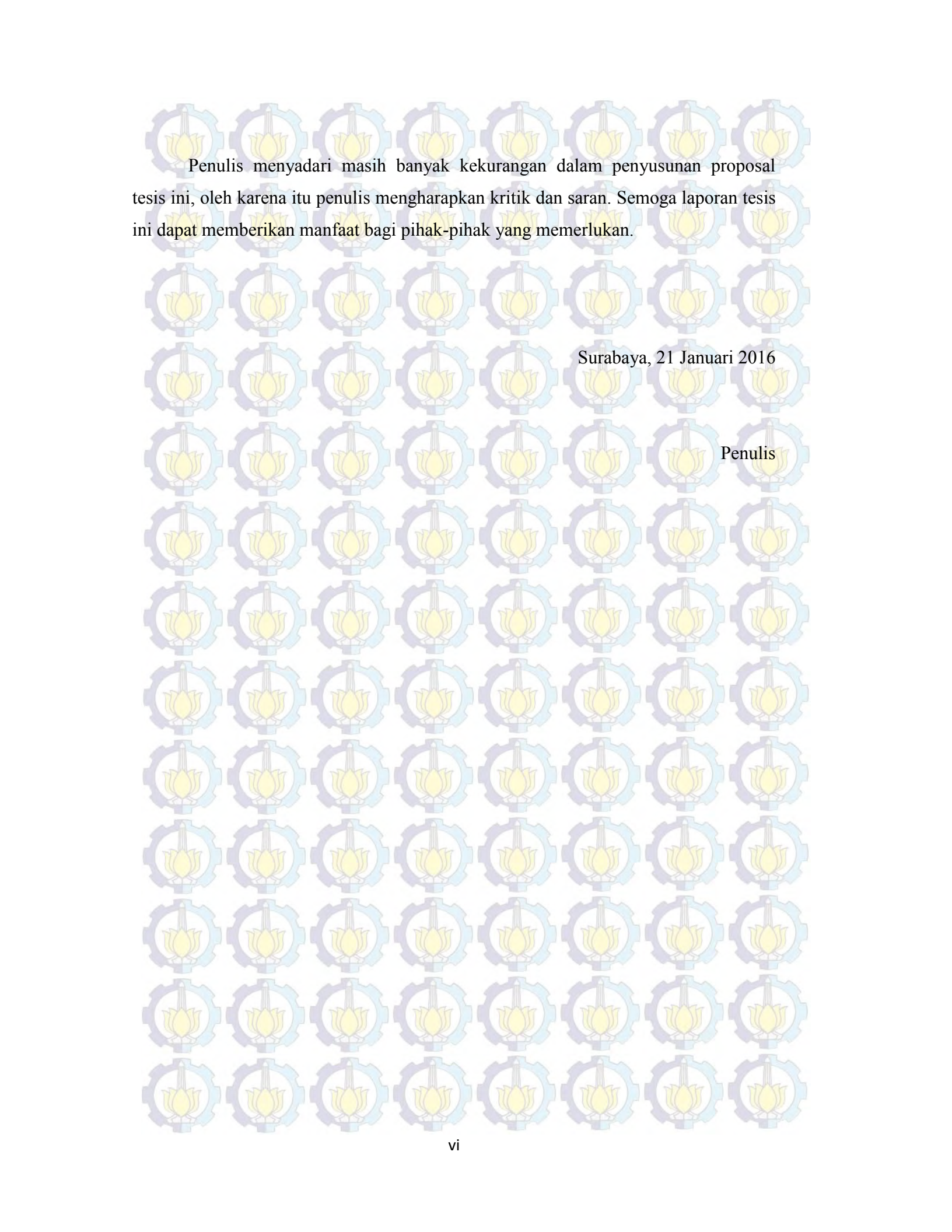
Keywords: Membrane, zeolite, silica, wastewater and cross flow.



KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, berkah, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tesis dengan judul **“Pemanfaatan Zeolit dan Silika Sebagai Membran Filtrasi Untuk Menurunkan TSS, COD dan Warna Pada Limbah Cair Batik”**. Laporan ini disusun dalam rangka memenuhi persyaratan kelulusan Program Magister Teknik Lingkungan ITS. Pada penyusunan tesis ini, penyusun menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Dosen pembimbing tesis, Alia Damayanti, ST., MT., Ph.D atas segala bimbingan dan arahan kepada penulis.
2. Ketua Jurusan Teknik Lingkungan, I D A A Warmadewanthi, ST, MT, Ph.D atas saran dan arahan kepada penulis.
3. Ketua program studi Pascasarjana Teknik Lingkungan, Dr. Ali Masduqi, ST, MT atas arahan dan motivasi kepada penulis.
4. Dosen penguji tesis, Prof. Dr. Ir. Wahyono Hadi, Msc.; Ir. Eddy S. Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D dan Harmin Sulistiyangsih Titah, ST., MT., Ph.D atas segala bimbingan dan saran kepada penulis.
5. Dosen wali, Ir. Eddy Setiadi Soedjono, Dipl.SE., M.Sc., Ph.D atas segala bentuk dukungan dan nasehat yang telah diberikan.
6. Bapak, Ibu dan keluarga di rumah yang selalu ikhlas mendoakan anaknya dalam setiap doa yang dipanjatkan. Terima kasih atas dukungan dan nasihatnya selama ini.
7. Partner tesis saya, Tika Kumala Sari, Anshah Silmi Afifah dan Sri Wahyuni yang selalu memberikan semangat dan dukungan.
8. Teman – teman Angkatan 2014 Magister Teknik Lingkungan ITS yang telah memberikan saran dan dukungannya



Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan proposal tesis ini, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran. Semoga laporan tesis ini dapat memberikan manfaat bagi pihak-pihak yang memerlukan.

Surabaya, 21 Januari 2016

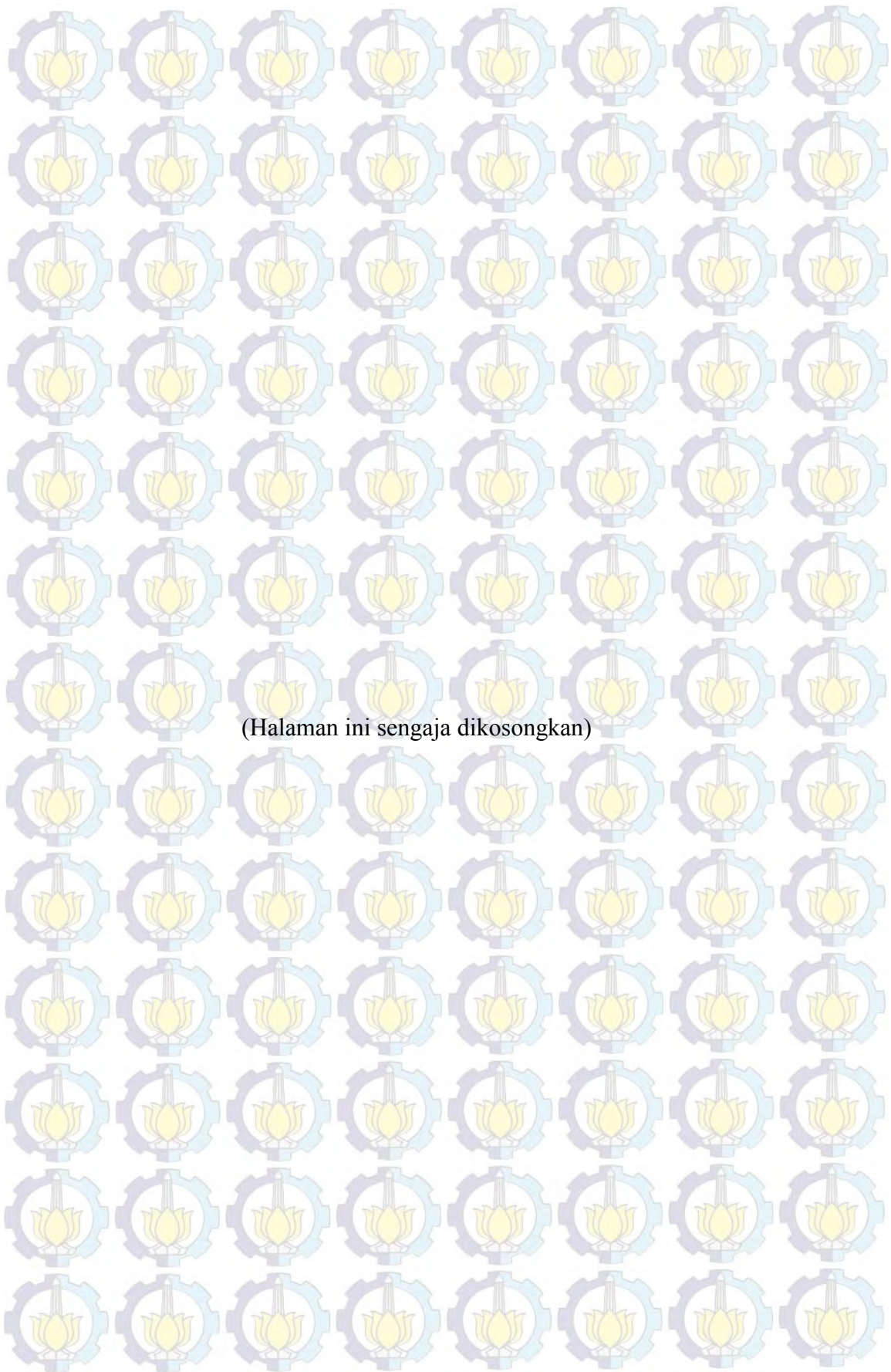
Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Limbah Cair Batik.....	7
2.1.1 Proses Pembuatan Batik.....	7
2.1.2 Karakteristik Limbah Cair.....	7
2.1.3 Zat Warna.....	9
2.2 Material Membran.....	9
2.2.1 Struktur Zeolit.....	9
2.2.2 Zeolit Alam.....	11
2.2.3 Aplikasi Pemanfaatan Zeolit.....	12
2.2.4 Membran Zeolit.....	13

2.2.5	Silika.....	14
2.3	Membran Filtrasi	15
2.3.1	Klasifikasi Membran	15
2.3.2	Fouling pada Membran Filtrasi	17
2.3.3	Kinerja Membran Filtrasi	17
2.4	Pola Aliran Filtrasi	18
2.5	Karakterisasi Membran dengan SEM dan EDX.....	19
2.6	Uji Kuat Tarik.....	20
BAB 3 METODE PENELITIAN.....		23
3.1	Ide Penelitian.....	26
3.2	Studi Literatur	26
3.3	Persiapan Penelitian	27
3.4	Pembuatan Membran.....	27
2.4.1	Tahap Persiapan Alat dan Bahan	27
2.4.2	Tahap Preparasi Material Zeolit dan Silika.....	28
2.4.3	Tahap Pembuatan Larutan Membran	29
2.4.4	Tahap Pencetakan Membran	30
3.5	Pengujian Filtrasi limbah pada Reaktor	32
3.6	Analisa Sampel.....	35
3.7	Karakterisasi Membran Filtrasi	35
3.8	Analisis Data dan Pembahasan	36
BAB 4 PEMBAHASAN.....		37
4.1	Pembuatan Membran.....	37
4.2	Pengujian Membran Pada Reaktor	38

4.3	Analisis Nilai Rejeksi TSS.....	39
4.4	Analisis Nilai Rejeksi COD.....	41
4.5	Analisis Nilai Rejeksi Warna.....	44
4.6	Analisis Nilai Fluks.....	46
4.7	Analisis Statistik Pengaruh Penambahan Silika, Kecepatan Centrifuge dan Konsentrasi Limbah Terhadap Nilai Rejeksi dan Fluks.....	48
4.8	Pengaruh Massa Penambahan Silika, Kecepatan <i>Centrifuge</i> dan Konsentrasi Limbah.....	73
4.9	Karakterisasi Membran.....	75
4.9.1	Analisis Morfologi dengan SEM.....	75
4.9.2	Analisis Kandungan Unsur pada Membran dengan EDX.....	76
4.9.3	Uji Kuat Tarik Membran.....	76
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		79
4.1	Kesimpulan.....	79
4.2	Saran.....	79
DAFTAR PUSTAKA.....		81
LAMPIRAN 1.....		A-1
LAMPIRAN 2.....		A-7
LAMPIRAN 3.....		A-11
LAMPIRAN 4.....		A-17
LAMPIRAN 5.....		A-19



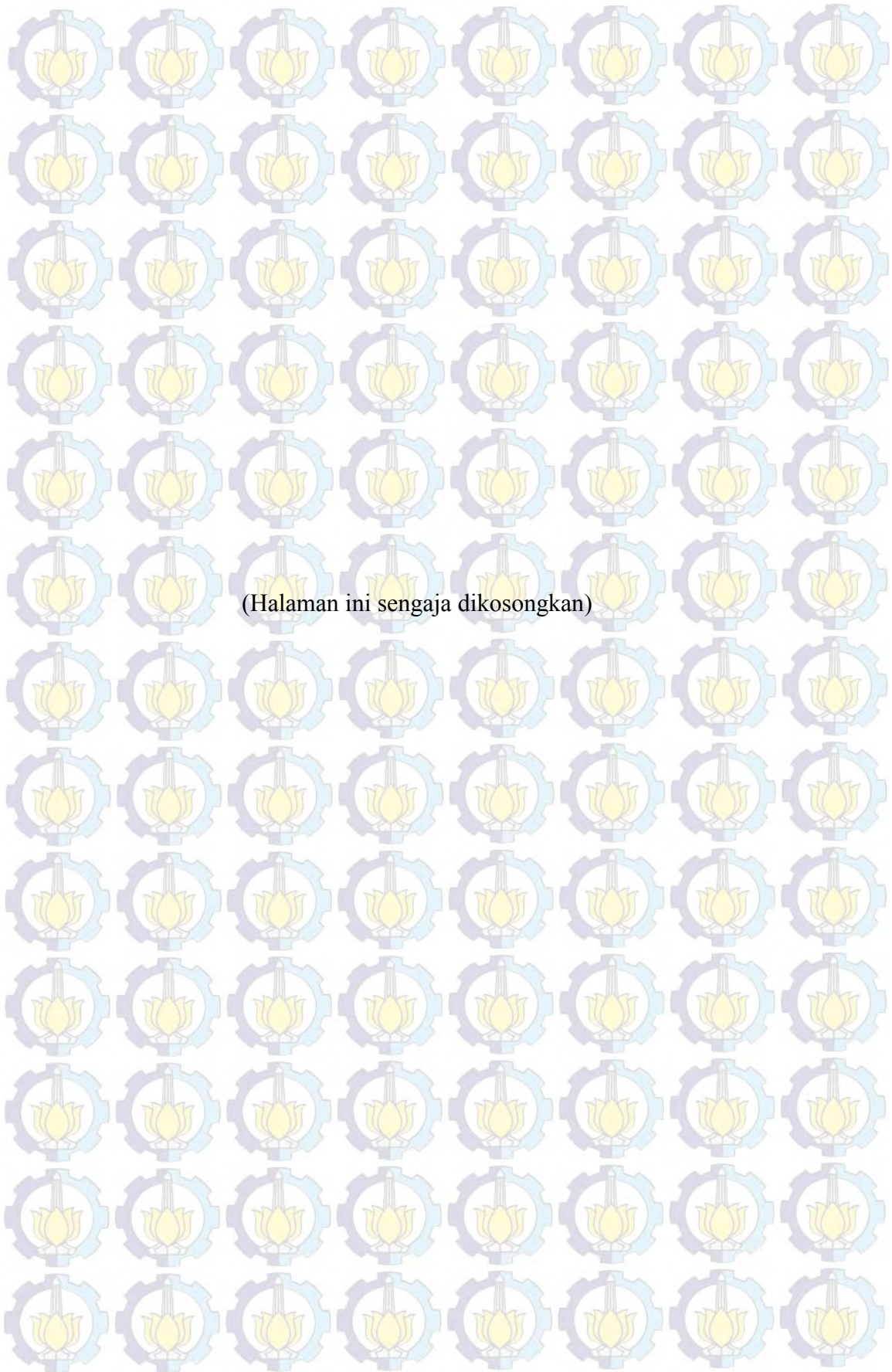
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013	8
Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Batik	8
Tabel 2.3 Mekanisme Pemisahan Membran Zeolit	14
Tabel 3.1 Variabel dan Level Penelitian.....	23
Tabel 4.1 Nilai Rejeksi TSS Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%	39
Tabel 4.2 Nilai Rejeksi TSS Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%	39
Tabel 4.3 Nilai Rejeksi COD Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%.....	42
Tabel 4.4 Nilai Rejeksi COD Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%.....	42
Tabel 4.5 Nilai Rejeksi Warna Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%.....	44
Tabel 4.6 Nilai Rejeksi Warna Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%.....	44
Tabel 4.7 Nilai Fluks Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%	46
Tabel 4.8 Nilai Fluks Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%	47
Tabel 4.9 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)	50
Tabel 4.10 Analisis Uji <i>Tukey</i> untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi TSS).....	51
Tabel 4.11 Analisis uji <i>Tukey</i> untuk Waktu (Terhadap Nilai Rejeksi TSS).....	53
Tabel 4.12 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi TSS) ..	54
Tabel 4.13 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)	54
Tabel 4.14 Pengaruh Kecepatan <i>Centrifuge</i> (Terhadap Nilai Rejeksi TSS).....	55
Tabel 4.15 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi TSS).....	55
Tabel 4.6 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Rejeksi COD)	56

Tabel 4.17 Analisis Uji <i>Tukey</i> untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi COD).....	57
Tabel 4.18 Analisis uji <i>Tukey</i> untuk Waktu (Terhadap Nilai Rejeksi COD).....	60
Tabel 4.19 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi COD)	61
Tabel 4.20 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi COD) ..	61
Tabel 4.21 Pengaruh Kecepatan <i>Centrifuge</i> (Terhadap Nilai Rejeksi COD)	62
Tabel 4.22 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi COD).....	62
Tabel 4.23 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Rejeksi Warna).....	63
Tabel 4.24 Analisis Uji <i>Tukey</i> untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)	64
Tabel 4.25 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)	66
Tabel 4.26 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)	66
Tabel 4.27 Pengaruh Kecepatan <i>Centrifuge</i> (Terhadap Nilai Rejeksi Warna) ...	67
Tabel 4.28 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi Warna).....	67
Tabel 4.29 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Fluks)	68
Tabel 4.30 Analisis Uji <i>Tukey</i> untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Fluks)	67
Tabel 4.31 Analisis uji <i>Tukey</i> untuk Waktu (Terhadap Nilai Fluks)	71
Tabel 4.32 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Fluks).....	72
Tabel 4.33 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Fluks).....	72
Tabel 4.34 Pengaruh Kecepatan <i>Centrifuge</i> (Terhadap Nilai Fluks)	73

Tabel 4.35 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Fluks).....	73
Tabel A-3.1 Nilai TSS Membran 200 RPM dan 100%.....	A-11
Tabel A-3.2 Nilai TSS Membran 600 RPM dan 100%.....	A-11
Tabel A-3.3 Nilai TSS Membran 200 RPM dan 75%.....	A-11
Tabel A-3.4 Nilai TSS Membran 600 RPM dan 75%.....	A-12
Tabel A-3.5 Nilai COD Membran 200 RPM dan 100%.....	A-12
Tabel A-3.6 Nilai COD Membran 600 RPM dan 100%.....	A-12
Tabel A-3.7 Nilai COD Membran 200 RPM dan 75%.....	A-13
Tabel A-3.8 Nilai COD Membran 600 RPM dan 75%.....	A-13
Tabel A-3.9 Nilai Warna Membran 200 RPM dan 100%	A-13
Tabel A-3.10 Nilai WarnaMembran 600 RPM dan 100%	A-14
Tabel A-3.11 Nilai Warna Membran 200 RPM dan 75%	A-14
Tabel A-3.12 Nilai Warna Membran 600 RPM dan 75%	A-14
Tabel A-3.13 Nilai Fluks Membran 200 RPM dan 100%.....	A-15
Tabel A-3.14 Nilai Fluks Membran 600 RPM dan 100%.....	A-15
Tabel A-3.15 Nilai Fluks Membran 200 RPM dan 75%.....	A-15
Tabel A-3.16 Nilai Fluks Membran 600 RPM dan 75%.....	A-16
Tabel A-4.1 Nilai EDX Membran Sebelum Filtrasi	A-20
Tabel A-4.2 Nilai EDX Membran Sebelum Filtrasi	A-21



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 (a) TO_4 tetrahedron, (b) TO_4 tetrahedra dengan penggunaan bersama atom oksigen	10
Gambar 2.2 Struktur Tetrahedron Silika.....	15
Gambar 2.3 Spektrum Pemisahan Membran	16
Gambar 2.4 Perbedaan pola aliran filtrasi.....	19
Gambar 2.5 Komponen Penyusun SEM.....	20
Gambar 2.6 Kurva Tegangan-regangan.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	25
Gambar 3.2 Proses Penghalusan Ukuran Partikel Zeolit.....	29
Gambar 3.3 Proses Perendaman Material dengan HCl	29
Gambar 3.4 Proses Pengadukan Menggunakan <i>Magnetic Stirrer</i>	30
Gambar 3.5 Proses pemanasan dengan penambahan PVA dan PEG	31
Gambar 3.6 Proses Pencetakan Membran Filtrasi Zeolit Silika	31
Gambar 3.7 Skema Aliran <i>Cross flow</i> Filtrasi Air Limbah	32
Gambar 3.8 Reaktor <i>Cross flow</i> Penelitian.....	32
Gambar 3.9 Desain Reaktor <i>Cross flow</i>	33
Gambar 3.10 Pompa Booster.....	33
Gambar 3.11 Penyusunan Membran Pada <i>Water Mur</i>	34
Gambar 3.12 <i>Pressure Gauge</i> 10 bar	35
Gambar 3.13 Titik Pengambilan Sampel.....	35
Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Ketebalan Membran Menggunakan SEM	37
Gambar 4.2 Membran Setelah Pengujian	38

Gambar 4.3 Sampel dari Permeat Hasil Filtrasi	38
---	----

Gambar 4.4 Perbedaan Nilai Rejeksi TSS Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%	40
--	----

Gambar 4.5 Perbedaan Nilai Rejeksi TSS Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%.....	41
---	----

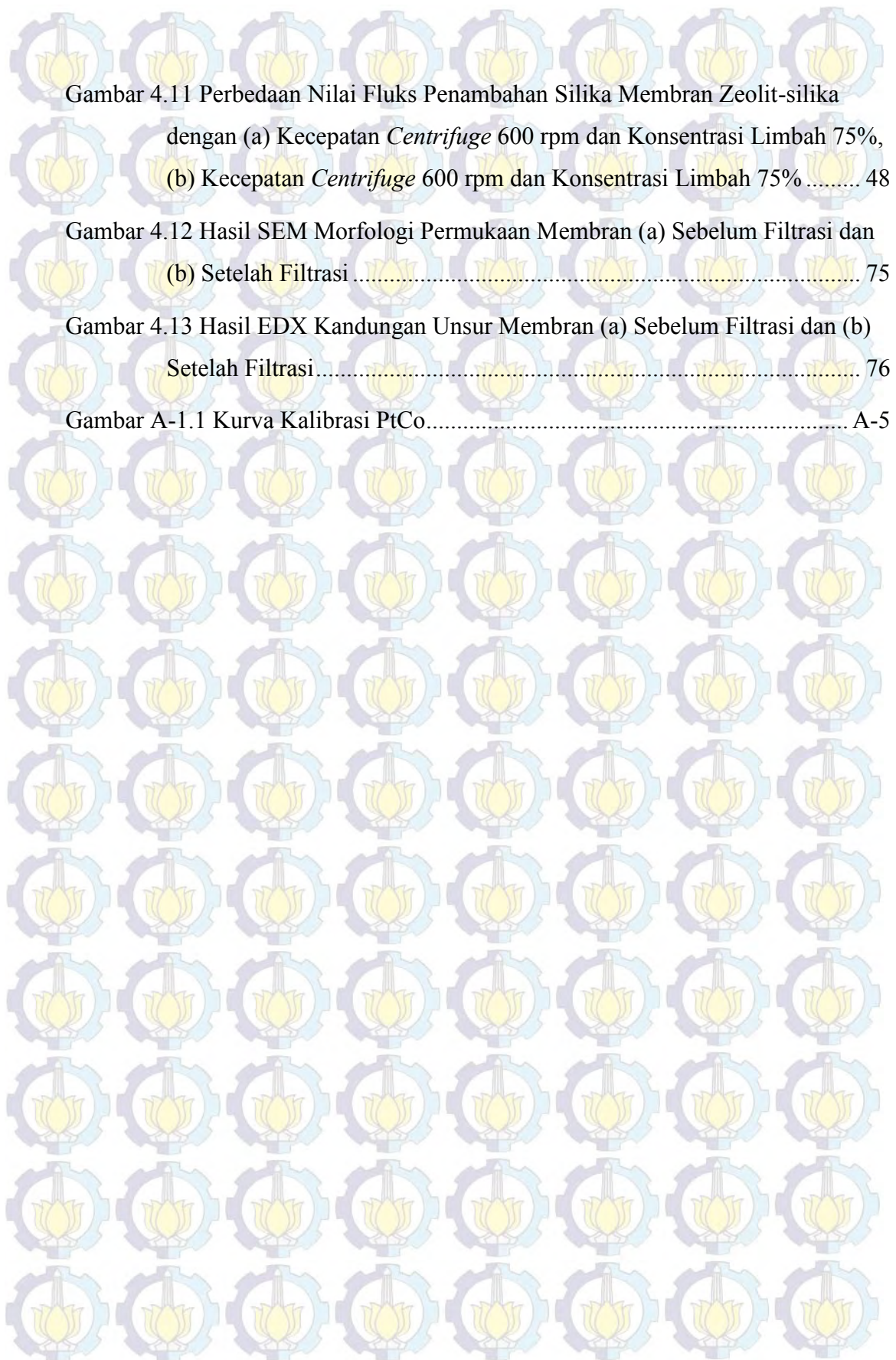
Gambar 4.6 Perbedaan Nilai Rejeksi COD Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%	43
--	----

Gambar 4.7 Perbedaan Nilai Rejeksi COD Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%	43
--	----

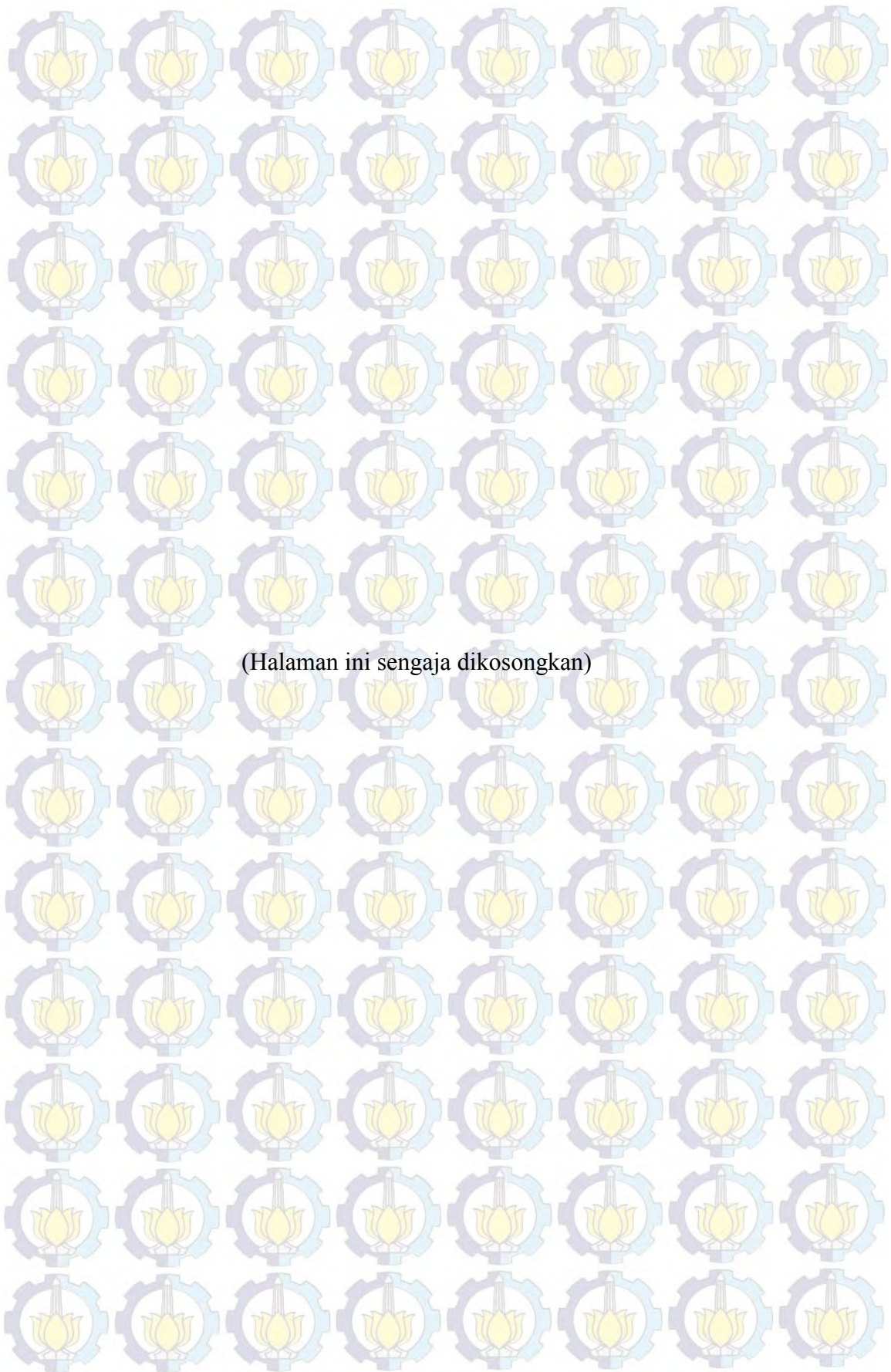
Gambar 4.8 Perbedaan Nilai Rejeksi Warna Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%	45
--	----

Gambar 4.9 Perbedaan Nilai Rejeksi Warna Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%	46
--	----

Gambar 4.10 Perbedaan Nilai Fluks Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%	48
---	----



Gambar 4.11 Perbedaan Nilai Fluks Penambahan Silika Membran Zeolit-silika dengan (a) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan <i>Centrifuge</i> 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%	48
Gambar 4.12 Hasil SEM Morfologi Permukaan Membran (a) Sebelum Filtrasi dan (b) Setelah Filtrasi	75
Gambar 4.13 Hasil EDX Kandungan Unsur Membran (a) Sebelum Filtrasi dan (b) Setelah Filtrasi.....	76
Gambar A-1.1 Kurva Kalibrasi PtCo.....	A-5



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya pertumbuhan industri di Indonesia memberikan pengaruh bagi terpenuhinya segala kebutuhan yang diperlukan oleh masyarakat Indonesia. Selain memberikan keuntungan, pesatnya pertumbuhan industri juga menimbulkan berbagai permasalahan. Salah satu permasalahan yang ditimbulkan adalah permasalahan limbah cair yang dihasilkan oleh proses produksi. Beberapa parameter karakteristik limbah yang seringkali tidak memenuhi baku mutu lingkungan untuk dibuang ke badan air adalah *Total Suspended Solid* (TSS), *Chemical Oxygen Demand* (COD) dan warna. Karakteristik ini terdapat di berbagai jenis limbah cair industri, seperti industri tekstil.

Industri tekstil baik besar ataupun kecil memerlukan banyak air dalam proses produksinya. Besarnya konsumsi air menyebabkan besarnya volume limbah cair yang dihasilkan. Limbah cair yang dihasilkan tidak dapat secara langsung dibuang ke badan air karena mengandung zat pencemar dan zat warna yang dapat membahayakan lingkungan dan manusia (Setiawan dkk, 2007). Menurut Hadiwidodo dkk (2009), proses pembilasan dan pewarnaan pada industri tekstil menghasilkan limbah cair dengan karakteristik kandungan zat warna, COD dan TSS yang tinggi.

Salah satu jenis industri tekstil yang ada di Indonesia adalah industri batik. Industri batik di Indonesia tersebar di berbagai wilayah sebagai industri atau usaha kecil menengah (UKM). Beberapa wilayah yang memiliki sentral industri batik adalah Pekalongan, Surabaya, Sidoarjo, Tuban, Jombang dan Jogja (Nurainun dkk, 2008). Sama halnya dengan limbah cair tekstil yang lain, limbah cair batik menurut Rashidi dkk (2013) juga memiliki kandungan COD, TSS dan warna yang membutuhkan pengolahan sebelum dibuang ke badan air.

Penelitian telah banyak dilakukan untuk mendapatkan metode pengolahan dan pengelolaan limbah cair tekstil termasuk batik agar sesuai dengan baku mutu limbah cair tekstil yang ditetapkan oleh pemerintah. Metode

pengolahan yang telah banyak diteliti adalah pengolahan secara kimia, biologi dan fisik.

Salah satu metode pengolahan secara kimia yang telah dilakukan adalah dengan menggunakan metode elektrokoagulasi. Metode ini telah diteliti oleh Yulianto dkk (2009) dan mampu menurunkan COD sebesar 30% dan konsentrasi warna sebesar 55%. Pengolahan lain juga telah dilakukan oleh setyaningsih (2007) dengan menggunakan proses koagulasi dengan koagulan FeSO_4 dan Ca(OH)_2 . Kemudian dilanjutkan dengan proses fisik yaitu dengan adsorpsi. Akumulasi zat warna dan sifat tidak bisa didaur ulang pada adsorben merupakan kekurangan dari metode ini (Fan dkk, 2013). Penambahan bahan-bahan kimia dalam pengolahan secara kimia juga dapat menimbulkan permasalahan baru bagi lingkungan.

Pengolahan limbah cair industri tekstil juga dapat menggunakan pengolahan biologis seperti penelitian Effendi dkk (2015) yang menggunakan *Moringa oleifera* sebagai koagulan untuk menurunkan *turbidity* limbah. Mansor (2010) juga menggunakan proses biologi dengan menggunakan *membrane bioreactor* (MBR) untuk membantu proses biodegradasi limbah cair batik. Kekurangan dari proses pengolahan secara biologi adalah lamanya waktu yang diperlukan dalam proses pengolahan.

Penelitian menggunakan pengolahan fisik telah dilakukan oleh Setiawan dkk (2007) dengan menggunakan adsorben karbon- TiO_2 untuk mereduksi warna dan BOD pada limbah cair tekstil. Hasil penelitian ini mampu mereduksi 29,608 % warna. Penelitian lain telah dilakukan oleh Khalik dkk (2015) dengan menggunakan *solar photocatalytic process* untuk limbah cair batik. Metode ini dapat menurunkan warna dan BOD pada limbah cair batik. Sedangkan Penelitian yang telah dilakukan oleh Nordin dkk (2013) adalah pengolahan limbah cair batik dengan teknik oksidasi elektrokimia menggunakan plat logam. Metode ini efektif menurunkan COD dan sisa warna.

Metode pengolahan secara fisik lain yang banyak diteliti untuk mengolah limbah tekstil termasuk limbah cair batik adalah dengan menggunakan membran nanofiltrasi (Puspayana dan Damayanti, 2013). Membran banyak digunakan karena sederhana, ramah lingkungan dan kebutuhan energi yang rendah (Wenten,

2003). Jenis membran yang efektif dan biasa digunakan untuk mereduksi warna adalah membran nanofiltrasi dan ultrafiltrasi (Liu dkk, 2012 dan Dong dkk, 2015).

Membran ultrafiltrasi dan nanofiltrasi efektif untuk menghilangkan warna akan tetapi memiliki beberapa kelemahan yaitu adanya batas waktu penggunaan karena dapat terjadi *fouling* pada membran dan mahal biaya pengadaan membran. Salah satu cara untuk mengatasi kekurangan pada pengaplikasian membran adalah dengan penggunaan material membran yang dapat meningkatkan waktu pakai membran dan meminimalkan harga jual membran. Salah satu material membran yang dapat digunakan adalah zeolit karena merupakan material alam yang mudah didapatkan dan lebih murah dari pada menggunakan membran polimer. Material lain yang sering digunakan adalah silika, karena memiliki daya serap yang baik dan dapat meningkatkan kekuatan membran.

Oleh karena itu, penelitian ini akan membahas tentang pemanfaatan zeolit dan silika sebagai bahan pembuatan membran filtrasi untuk menurunkan TSS, COD dan warna pada limbah cair batik. Sampel limbah cair diperoleh dari industri kecil menengah pembuatan batik yang merupakan bagian dari industri tekstil. Proses filtrasi menggunakan aliran *crossflow* karena memerlukan biaya operasi yang lebih rendah dari pada aliran konvensional *dead end*.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa nilai rejeksi terbesar pada membran filtrasi menurunkan TSS, COD dan warna limbah cair batik?
2. Berapa nilai penurunan fluks terkecil pada membran filtrasi untuk menurunkan TSS, COD dan warna limbah cair batik ?
3. Berapa perbandingan massa penambahan silika dan kecepatan *centrifuge* yang menghasilkan nilai rejeksi terbesar dan penurunan nilai fluks terkecil pada pembuatan membran untuk pengolahan limbah cair batik?

1.3 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan nilai rejeksi terbesar pada membran filtrasi menurunkan TSS, COD dan warna limbah cair batik.
2. Menentukan nilai penurunan fluks terkecil pada membran filtrasi untuk menurunkan TSS, COD dan warna limbah cair batik.
3. Menentukan massa penambahan silika dan kecepatan *centrifuge* yang menghasilkan nilai rejeksi terbesar dan penurunan nilai fluks terkecil pada pembuatan membran untuk pengolahan limbah cair batik.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah:

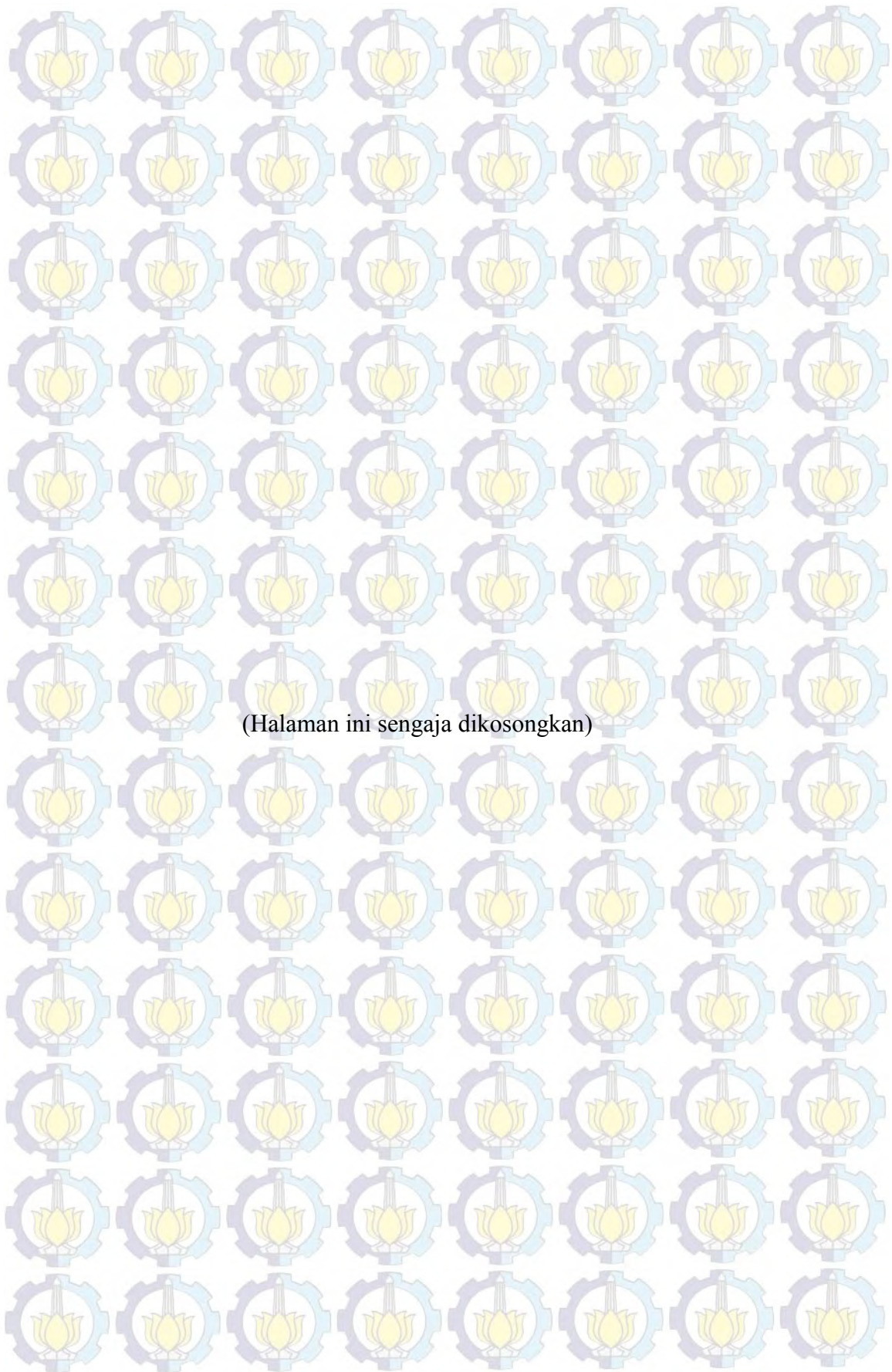
1. Memberikan metode alternatif dalam pengolahan limbah cair pewarnaan batik sebelum dibuang ke badan air.
2. Menambah referensi penelitian tentang pemanfaatan zeolit dan silika untuk mengolah limbah cair industri tekstil termasuk batik.
3. Menambah referensi penelitian pembuatan membran filtrasi dengan campuran material zeolit dan silika sebagai material yang dikenal dapat menurunkan TSS, COD dan warna pada limbah cair.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini adalah:

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Laboratorium Sampah dan Limbah B3 Jurusan dan Workshop Jurusan Teknik Lingkungan serta Laboratorium Material Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS Surabaya.
2. Limbah cair batik didapatkan dari industri batik Jetis Sidoarjo Jawa Timur.
3. Variabel yang digunakan adalah perbandingan massa penambahan silika pada zeolit sebagai material pembuatan membran, kecepatan *centrifuge* pada pembuatan membran dan konsentrasi limbah cair industri batik yang akan diolah.
4. Proses filtrasi dilakukan dengan aliran *cross flow*.

5. Parameter penelitian adalah nilai rejeksi TSS, COD, warna dan nilai fluks membran.



BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Limbah Cair Batik

2.1.1 Proses Pembuatan Batik

Proses pembuatan batik terdiri dari 4 tahapan, yaitu:

1. Tahap Persiapan

Tahapan ini meliputi pemotongan kain, pencucian kain (*ngirah*), pengkajian mori (*nglyor*) dan *ngempleng*.

2. Tahap Pemalaman (Suprihatin, 2014)

Tahap pemalaman merupakan tahapan penempelan bahan utama perintang batik yaitu malam ke mori. Malam ditempelkan pada mori yang telah dipola dengan menggunakan canting tulis maupun canting cap.

3. Tahap Pewarnaan (Suprihatin, 2014)

Tahap pewarnaan dilakukan dengan pemberian warna pada tempat yang terbuka yaitu bagian yang tidak terdapat lilin.

4. Tahap Pelorodan (Suprihatin, 2014)

Tahap pelorodan merupakan tahapan penghilangan lilin malam yang menempel pada kain mori. Penghilangan lilin ini dapat dilakukan dengan melepas sebagian atau keseluruhan lilin pada kain mori. Penghilangan sebagian lilin dilakukan dengan cara mengerok dengan alat sejenis pisau. Sedangkan pelorodan tahap akhir yang disebut *mbabar* atau *ngobyok* dilakukan dengan air panas.

2.1.2 Karakteristik Limbah Cair

Kandungan berbahaya limbah cair industri tekstil yang tidak memenuhi standar baku mutu lingkungan telah termuat dalam Peraturan Gubernur Jawa Timur nomer 72 tahun 2013 harus diolah sebelum dibuang ke badan air. Hal ini harus dilakukan agar tidak berpengaruh pada kualitas badan air. Baku mutu limbah cair tekstil dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Peraturan Gubernur Jawa Timur No. 72 Tahun 2013

Parameter	Nilai Maksimum (mg/L)
TSS	150
COD	50
pH	6-9
Warna	-

Beberapa penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa sebagian besar industri tekstil termasuk batik, memiliki kandungan yang tidak memenuhi standar baku mutu. Hasil penelitian kandungan limbah cair batik disajikan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Limbah Cair Batik

Parameter	Nilai		
	Purwaningsih (2008)	Effendi (2015)	Khalik dkk (2015)
COD (mg/L)	3039,7	712,5	4092
pH		6,05	10,77
Suhu (C)			25,3
Turbidity (NTU)		1306	217
TSS (mg/L)	855	1248	303,03
Warna PtCo	185		

Berdasarkan perbandingan parameter yang terdapat pada Tabel 2.1 dan 2.2 maka parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah nilai rejeksi TSS, COD, warna dan nilai fluks pada limbah cair yang dihasilkan. Warna tidak diatur dalam Peraturan Gubernur Jatim akan tetapi warna merupakan parameter fisik yang dapat mencemari badan air dan berbahaya bagi kesehatan.

Limbah cair batik menurut Muljadi (2009) memiliki karakteristik sebagai berikut:

1. Karakteristik fisika meliputi padatan terlarut, warna, bau dan suhu.

2. Karakteristik kimia meliputi pH, alkalinitas, kesadahan, logam berat, bahan organik dan bahan anorganik.
3. Karakteristik biologi berupa bakteri dan partikel-partikel halus organik.

2.1.3 Zat Warna

Zat warna berasal dari gabungan zat organik tidak jenuh dengan kromofor dan auksokrom. Zat organik tidak jenuh yang sering digunakan adalah senyawa hidrokarbon aromatik dan turunannya, fenol dan turunannya serta senyawa hidrokarbon yang mengandung nitrogen. Gugus kromofor berfungsi sebagai pembawa warna karena dapat menyebabkan molekul menjadi bewarna sedangkan gugus auksokrom berfungsi sebagai pengikat warna dengan serat.

Zat pewarna yang banyak digunakan pada tahapan pewarnaan adalah senyawa organik berantai panjang. Klasifikasi zat warna berdasarkan struktur kimia menurut Nugroho (2005) meliputi Ozo, anthraquinones, ftalosianin, indigoid, benzodifuranones, oxazines, polimetin, di-aril karbonium dan tri-aril karbonium, karboksil aromatik polisiklik, quinophtalones, sulfur serta nitro dan nitroso.

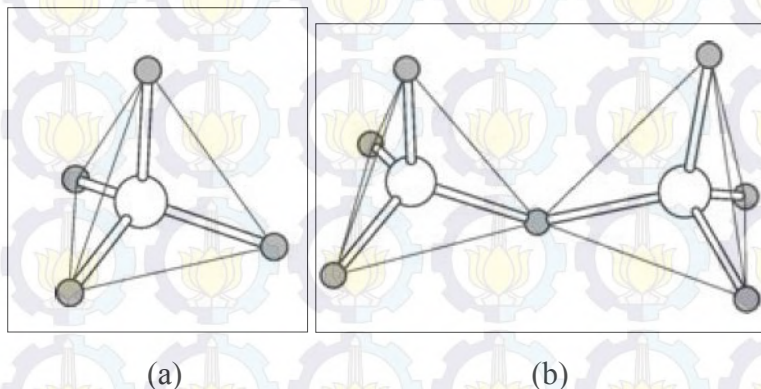
Klasifikasi zat warna juga dapat digolongkan berdasarkan aplikasi atau cara pewarnaan. Klasifikasi zat warna berdasarkan aplikasi meliputi zat warna asam, basa, direk, dispersi, pigmen, reaktif, solven, belerang, bejana dan lain-lain (Manurung dkk, 2004).

2.2 Material Membran

2.2.1 Struktur Zeolit

Struktur zeolit terdiri dari silika, alumunium dan oksigen. Atom silikon dan alumunium berbentuk tetrahedral dengan penggunaan bersama atom oksigen. Zeolit memiliki sifat yang stabil pada suhu lebih dari 500°C dan radiasi pengion sehingga dapat digunakan untuk menghilangkan kation radioaktif. Beberapa zeolit juga stabil pada kondisi basa dan dapat stabil pada kondisi asam (Tavalaro dan Drioli, 1999). Zeolit memiliki beragam ukuran dan struktur pori. Keberagaman tersebut disebabkan oleh variasi koneksi pada TO_4 ($Ti = Si$ atau Al) tetrahedral (Feng dkk, 2015).

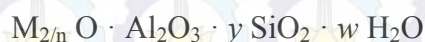
Zeolit merupakan salah satu contoh *molecular sieves*. *molecular sieves* adalah padatan berpori dengan ukuran dimensi molekul berkisar antara 0,3 nm sampai 2 nm (Flanigen dkk, 2010). *molecular sieves* dapat secara selektif mengadsorpsi molekul berdasarkan ukuran, bentuk dan muatan listrik. Contoh lain *molecular sieves* adalah karbon aktif, tanah liat aktif, aluminiumoksida dan silika gel (Kogel dkk, 2006).



Gambar 2.1 (a) TO4 tetrahedron, (b) TO4 tetrahedra dengan penggunaan bersama atom oksigen (Xu dkk, 2007).

Unit bangunan struktural utama pada kerangka zeolit seperti Gambar 2.1 (a) adalah [SiO₄], [AlO₄] atau [PO₄] terahedra. Masing-masing atom T berikatan koordinasi dengan empat atom oksigen dengan setiap atom oksigen menghubungkan dua atom T seperti pada Gambar 2.1 (b) (Xu dkk, 2007).

Zeolit memiliki struktur yang sangat kompleks, struktur rangka mengandung saluran intrakristalin atau ruang kosong (*void*) yang saling berhubungan yang ditempati oleh kation dan molekul air. Kation bergerak dan biasanya mengalami pertukaran ion. Sedangkan air dapat dihilangkan secara *reversible* dengan menggunakan panas. Saluran intrakristalin atau *void* dapat menjadi 1,2 atau tiga dimensi. Dimensi yang baik untuk memfasilitasi difusi intrakristalin pada aplikasi adsorpsi dan katalitik adalah dimensi 3. Secara kimia, rumus empiris dari zeolit adalah:



Dimana y adalah 2 sampai 100, n merupakan valensi kation dan w merupakan kandungan air pada ruang kosong zeolit (Flanigen dkk, 2010).

Zeolit diklasifikasikan menjadi 4 macam (Tavalaro dan Drioli, 1999), yaitu:

- Material berpori kecil, memiliki lubang pori terdiri dari 6, 8 atau 9 tetrahedral (6-, 8- dan 9-anggota cincin),
- Material berpori medium, memiliki 10-anggota cincin,
- Material berpori besar, memiliki 12-anggota cincin,
- Material berpori *ultralarge*, memiliki 14-, 18- atau 20-anggota cincin.

2.2.2 Zeolit Alam

Zeolit alam pada awalnya hanya dinilai sebagai keanehan alam karena sifat unik yang dimilikinya. Pada tahun 1756 mineral zeolit ini diberi nama oleh Axel Fredriks Cronstedt, zeolit berasal dari bahasa Yunani yaitu ζειν yang berarti mendidih dan λίθος yang berarti batu. Zeolit alam terbentuk sebagai unsur minor di dalam vugs atau rongga basaltik dan batuan vulkanik. Zeolit alam menjadi perhatian penelitian interdisipliner yang melibatkan fisika, kimia, petrologi, geologi dan rekayasa (Swenson, 2012).

Zeolit alam seperti chabazite, erionit, modernit dan kliptonit dikomersialkan menjadi adsorben. Modernit dan kliptonit dapat diaplikasikan sebagai pemisahan udara, pengeringan dan purifikasi. Zeolit alam juga dapat digunakan sebagai *filler* (pengisi) pada kertas, dimanfaatkan sebagai zat aditif semen pozolan dan beton serta material yang ditambahkan pada pupuk (Flanigen dkk, 2010).

Jenis zeolit alam berdasarkan Lestari (2010) dapat diklasifikasikan menjadi 2, yaitu:

1. Zeolit yang terdapat di antara lapisan atau celah-celah batuan.
Jenis zeolit ini biasanya terbentuk bersama dengan mineral lain seperti kalsit, kwarsa, renit, klorit, fluorit dan mineral sulfida.
2. Zeolit berupa batuan.
Jenis zeolit ini lebih sedikit di alam. Contoh jenis zeolit alam ini adalah klinoptilolit, analim, laumontit, mordenit, filipsit, erionit, kabsit dan heulandit.

2.2.3 Aplikasi Pemanfaatan Zeolit

Zeolit dapat dimanfaatkan sebagai material filtrasi karena mampu memisahkan molekul berdasarkan ukuran, bentuk, polaritas dan derajat ketidakjenuhan. Zeolit dapat dimodifikasi dengan cara sintesis langsung untuk meningkatkan kandungan silika sehingga dapat meningkatkan sifat hidrofobik pada zeolit (Flanigen dkk, 2010).

Sifat zeolit dapat mengalami perubahan bergantung pada struktur zeolit, tekanan, suhu, konsentrasi larutan, sifat dan ukuran kation. Pemanfaatan zeolit secara komersial didasari oleh sifat zeolit yaitu: *molekular sieving*, *ion exchange*, *adsorption* dan katalisis (Kogel dkk, 2006). Menurut Ahkam (2011), Berdasarkan kegunaannya zeolit memiliki berbagai sifat, yaitu:

1. Dehidrasi

Zeolit dapat melepaskan molekul air di dalam rongga permukaannya. Pelepasan molekul air ini menyebabkan medan listrik meluas ke dalam rongga utama dan berinteraksi dengan molekul yang akan diadsorpsi.

2. Adsorpsi

Kristal zeolit akan melepaskan molekul air yang terisi pada rongga hampa atau kosong (*void*) ketika dipanaskan pada suhu 300-400 °C. Hal ini menyebabkan zeolit memiliki kemampuan untuk mengadsorpsi atau menyerap cairan atau gas. Selektivitas adsorpsi zeolit terhadap molekul tertentu dapat dimodifikasi melalui pertukaran kation, dekationisasi, dealuminasi secara hidrotermal dan pengubahan rasio Si/Al.

3. *Ion exchange* (penukar ion)

Ion-ion pada rongga zeolit berguna untuk menjaga kenetralan zeolit. Ion-ion inilah yang menyebabkan zeolit memiliki sifat sebagai penukar ion. Oleh karena itu, sifat zeolit sebagai penukar ion dipengaruhi oleh sifat kation, jenis anion dan suhu. Ion-ion akan bergerak bebas tergantung ukuran, muatan dan jenis zeolit. Pertukaran kation dapat menyebabkan perubahan stabilitas terhadap panas, sifat adsorpsi dan aktifitas katalisis zeolit.

4. Katalis

Sifat katalis zeolit disebabkan adanya ruang kosong yang berbentuk saluran di dalam strukturnya. Saluran satu dimensi memberikan ruang molekul untuk bergerak ke satu arah. Saluran dua dimensi membuat molekul dapat bergerak ke dua arah atau dalam bidang datar. Saluran tiga dimensi memberikan ruang pada molekul yang berdifusi untuk bergerak ke semua arah atau sisi kristal.

5. Penyaring atau pemisah

Zeolit sebagai penyaring atau pemisah inilah yang menjadi dasar digunakannya zeolit sebagai material membran filtrasi. Zeolit dapat memisahkan molekul berdasarkan ukuran, bentuk, polaritas dari molekul yang disaring. Penggunaan zeolit sebagai penyaring didasari oleh volume dan ukuran garis tengah ruang kosong dalam kisi-kisi kristal zeolit. Banyaknya jumlah ruang kosong pada kristal zeolit berbanding lurus dengan besarnya daya saring zeolit (Rakhmatullah, 2007).

2.2.4 Membran Zeolit

Salah satu pemanfaatan zeolit adalah sebagai material pembuatan membran filtrasi. Zeolit berpotensi sebagai material membran karena struktur mikro yang dimiliki yang terdiri dari molekul dengan ukuran pori-pori yang seragam yang terhubung oleh jalur difusi secara kontinu. Pada proses pemisahan secara komersial, zeolit lebih tahan terhadap kondisi operasi pemisahan dari pada membran polimer (O'Brien-Abraham dan Lin, 2010).

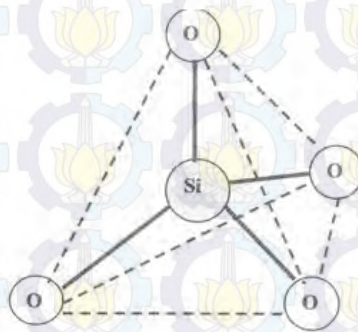
Proses pemisahan melalui membran zeolit berlangsung melalui tiga mekanisme yang berbeda yaitu (1) penyaringan molekul, (2) difusi yang dikendalikan oleh perembesan dan (3) adsorpsi yang dikendalikan oleh perembesan. Penjelasan masing-masing mekanisme dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Mekanisme Pemisahan Membran Zeolit

Jenis Mekanisme	Keterangan
Pemisahan molekul	<ul style="list-style-type: none"> • Memisahkan molekul yang terlalu besar, • Molekul yang lebih kecil dari pori secara selektif akan melewati membran zeolit, • Permselectivity diprediksikan oleh selektivitas ideal, • Membutuhkan membran yang sempurna.
Difusi	<ul style="list-style-type: none"> • Semua molekul dapat memasuki pori zeolit, • Selektivitas ditentukan oleh ukuran relatif/ bentuk molekul dan pori zeolit, • Permselectivity diprediksikan oleh selektivitas ideal pada suhu tinggi dan konsentrasi rendah.
Adsorpsi	<ul style="list-style-type: none"> • Semua molekul dapat memasuki pori zeolit, • Selektivitas ditentukan oleh interaksi molekul-molekul dan beban membran, • Permselectivity tidak diprediksikan oleh selektivitas ideal.

2.2.5 Silika

Silika merupakan senyawa yang mengandung satu anion dengan satu atau lebih atom silikon sebagai pusat yang dikelilingi oleh ligan elektronegatif (Im, 2011). Silika berbentuk tetrahedron dimana satu ion silikon berikatan dengan empat ion oksigen seperti pada Gambar 2.1. Silika di alam ditemukan dalam bentuk mineral kuarsa dan dikenal sebagai pasir kuarsa. Pasir kuarsa harus dicuci untuk membuang pengotor sehingga didapatkan pasir kuarsa dengan kadar silika yang lebih tinggi. Pasir kuarsa dengan kadar silika yang lebih tinggi inilah yang kemudian disebut pasir silika (Im, 2011). Dimensi pasir silika bervariasi, berdiameter mulai dari 0,06 mm sampai 2 mm.



Gambar 2.2 Struktur Tetrahedron Silika (Babu dkk, 2015)

Pemanfaatan silika telah dikenal luas di berbagai bidang ilmu seperti ilmu medis, fisika, kimia, mekanik hingga bidang elektronik. Silika dengan rumus molekul SiO_4 memiliki titik didih 2320°C dan titik leleh 1610°C , tidak larut dalam air dan alkohol tetapi terlarut dalam HF (Prameswari, 2013).

2.3 Membran Filtrasi

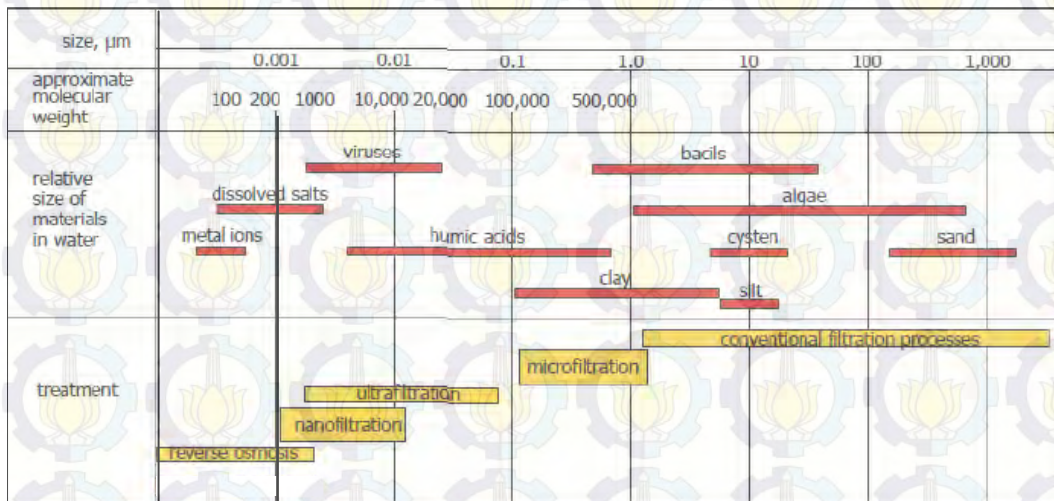
Teknologi membran banyak digunakan dalam proses pemisahan dan pengolahan limbah karena memiliki beberapa keunggulan dari pada teknologi lain. Beberapa keunggulan teknologi membran adalah sederhana, ramah lingkungan dan kebutuhan energi yang rendah. Sifat membran yang ramah lingkungan dikarenakan tidak memerlukan tambahan bahan aditif yang berbahaya bagi lingkungan. Prinsip pemisahan membran adalah perbedaan kecepatan transfer antara masing-masing substansi pada membran (Wenten, 2003).

2.3.1 Klasifikasi Membran

Klasifikasi membran berdasarkan gradien tekanan dibagi menjadi 4 macam yaitu membran mikrofiltrasi (MF), membran ultrafiltrasi (UF), membran nanofiltrasi (NF) dan membran *reverse osmosis* (RO). Membran MF beroperasi pada tekanan berkisar 0,1-2 bar dan batasan permeabilitasnya lebih besar dari $50 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$. Membran UF beroperasi pada tekanan antara 1-5 bar dan batasan permeabilitas-nya adalah $10\text{-}50 \text{ L/m}^2\cdot\text{jam}\cdot\text{bar}$. Membran NF beroperasi pada tekanan antara 5-20 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai 1,4-12

$\text{L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$. Sedangkan membran RO beroperasi pada tekanan antara 10-100 bar dan batasan permeabilitasnya mencapai $0,05\text{-}1,4 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam} \cdot \text{bar}$ (Mulder 1996).

Perbedaan lain antara keempat membran tersebut adalah kemampuan spesifik untuk menghilangkan unsur-unsur dalam air limbah sehingga dapat diaplikasikan dalam pengolahan air limbah. Spektrum pemisahan dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Spektrum Pemisahan Membran (Diadaptasi dari Van, dkk (2009) dan Zeng (2012))

COD dan TSS dapat dipisahkan dengan menggunakan membran ultrafiltrasi. Warna dapat dipisahkan dengan membran ultrafiltrasi tetapi lebih efektif jika dipisahkan dengan menggunakan membran nanofiltrasi. Berdasarkan Liu dkk (2012) membran yang biasa digunakan untuk pengolahan limbah warna tekstil adalah membran ultrafiltrasi dan nanofiltrasi. Hal ini menunjukkan bahwa membran ultrafiltrasi dapat juga digunakan untuk memisahkan zat warna tetapi lebih efektif jika menggunakan membran nanofiltrasi. Akan tetapi dengan mempertimbangkan TSS yang besar pada karakteristik limbah cair yang akan digunakan maka pemilihan membran ultrafiltrasi dapat membuat membran memiliki waktu penggunaan yang lebih lama.

2.3.2 *Fouling* pada Membran Filtrasi

Kinerja membran dapat mengalami penurunan akibat terjadinya pemampatan dan *fouling* (sumbat). Pemampatan yang terjadi pada membran berbanding lurus dengan besarnya tekanan dan suhu. *Fouling* pada membran terjadi dalam 3 bentuk umum, yaitu (1) Penumpukan unsur dalam air umpan pada permukaan membran. (2) Pembentukan endapan kimia karena bahan kimia pada air umpan. (3) Kerusakan membran karena adanya substansi kimia yang dapat bereaksi dengan membran atau agen biologi yang dapat membentuk koloni pada membran (Metcalf dan Eddy, 2003).

Dalam pengolahan limbah dengan menggunakan membran, fluks permeat akan mengalami penurunan. Penurunan fluks dapat disebabkan oleh polarisasi konsentrasi atau *fouling* (Ashaghi dkk., 2007). Ada dua jenis membran *fouling* secara umum yaitu :

1. *Fouling reversible*, adalah hasil dari penyimpanan partikel koloid atau zat terlarut di dalam permukaan membran atau pori-pori membran. *Backwash* dengan air murni mungkin bisa digunakan untuk membalikkan deklinasi fluks pada *fouling reversible*.
2. *Fouling irreversible* adalah hasil dari penyerapan kimia maupun fisik yang kuat terhadap partikel dan zat terlarut pada permukaan membran dan pori-pori membran. Satu-satunya metode untuk memulihkan deklinasi fluks oleh *fouling irreversible* adalah mencuci dengan larutan asam atau alkali. Namun, dengan metode pembersihan secara agresif mungkin tidak dapat memulihkan permeabilitas awal membran.

Fouling pada membran akibat penumpukan solid terjadi melalui 3 mekanisme (Metcalf dan Eddy, 2003), yaitu:

- 1) *Pore Narrowing*
- 2) *Pore Plugging*
- 3) *Gel/cake formation caused by concentration polarilation*

2.3.3 Kinerja Membran Filtrasi

Parameter untuk menilai kinerja membran filtrasi adalah permeabilitas dan permselektivitas. Permeabilitas sering dinyatakan dengan fluks. Fluks adalah

jumlah volume *permeate* yang melewati satuan luas membran dalam waktu tertentu dengan adanya daya dorong dalam hal ini berupa tekanan. Rumus matematis fluks dapat ditulis seperti pada persamaan 2.1 (Mudler, 1996).

$$J = \frac{v}{A \times t} \quad (2.1)$$

Dimana :

J = Fluks (L/m².jam)

v = volume *permeate* (ml)

A = Luas permukaan membran (m²)

t = Waktu (jam)

Permelektivitas membran dapat diukur dengan nilai rejeksi (R) seperti pada persamaan 2.2. Permelektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

R = nilai rejeksi (%)

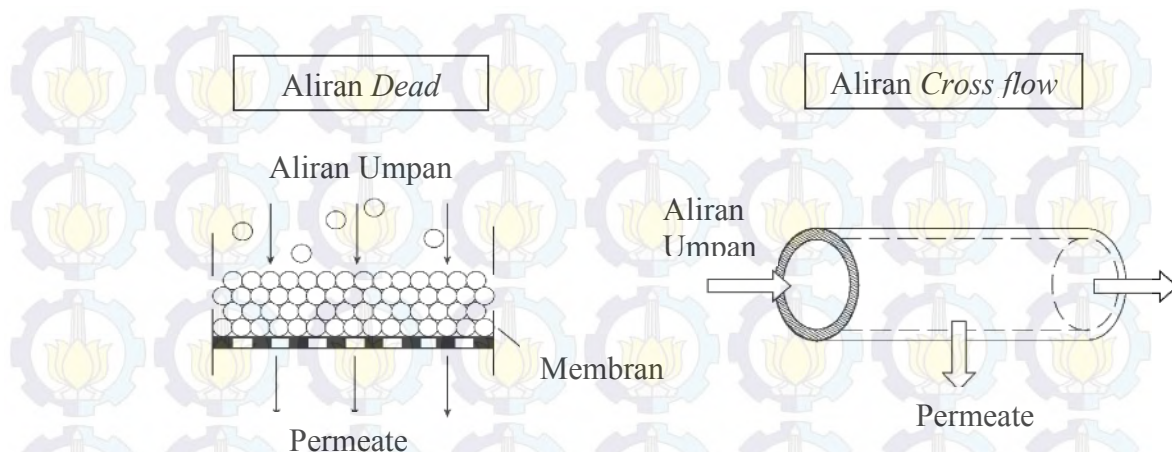
C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan.

2.4 Pola Aliran Filtrasi

Pola aliran *dead end* adalah tegak lurus terhadap membran. Tipe aliran ini mempunyai kelemahan yaitu cenderung mengakibatkan *fouling* yang sangat tinggi karena terbentuknya *cake* di permukaan membran pada sisi umpan.

Sedangkan pola aliran *cross flow* sejajar dengan membran. Aliran *cross flow* merupakan jenis aliran yang lebih sering digunakan untuk membran filtrasi dari pada aliran *dead end*. Pemilihan jenis aliran ini adalah untuk mencegah *fouling*. Perbedaan aliran *cross flow* dan *dead end* dapat dilihat pada Gambar 2.4.

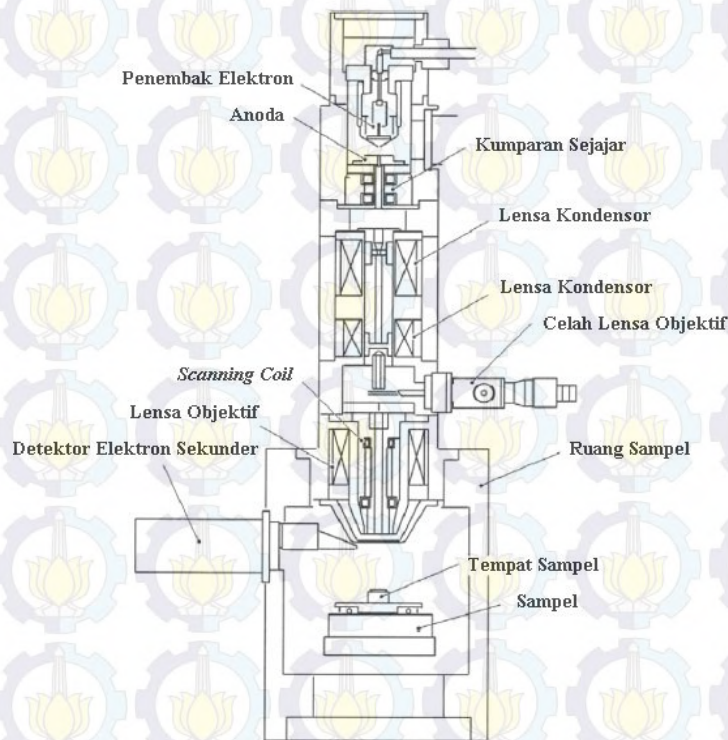


Gambar 2.4 Perbedaan Pola Aliran Filtrasi

2.5 Karakterisasi Membran dengan SEM dan EDX

Scanning Electron Microscope adalah salah satu instrument yang tepat untuk menguji, menganalisis morfologi dan struktur mikro padatan (Zhou dkk., 2007). SEM memiliki tingkat perbesaran yang lebih jelas dari pada mikroskop optik biasa. SEM sangat cocok digunakan untuk melihat bentuk permukaan. Ketika elektron ditembakkan pada sampel, akan ada berbagai sinyal yang dapat terdeteksi. Interaksi elektron dengan atom akan meningkatkan kecepatan tegangan dan akan menurun dengan menurunnya nomor atom. Dengan menggunakan SEM, gambar morfologi permukaan suatu benda (material) dapat diidentifikasi. Komponen penyusun SEM ditunjukkan pada Gambar 2.5. Prinsip kerja SEM dimulai dengan berkas elektron primer dengan energi kinetik 1-25 kV mengenai sampel membran. Setelah mengenai membran elektron tersebut direfleksikan atau dipancarkan. Elektron yang direfleksikan ini disebut dengan elektron sekunder yang akan muncul dan menentukan image yang teramati pada layar micrograph pada alat SEM (Mulder, 1996).

SEM dengan kombinasi EDX digunakan untuk mengetahui morfologi dari suatu zat dan kandungan unsur yang ada dalam suatu senyawa. Pemindaian mikroskop elektron (SEM) yang dikombinasikan dengan energi dispersif X-ray (EDX) telah terbukti menjadi alat yang berguna untuk menentukan komposisi kimia membran (Alonso *et al.*, 2013).



Gambar 2.5 Komponen Penyusun SEM (Zhou dkk, 2007)

2.6 Uji Tarik

Besaran fisika yang digunakan untuk menentukan sifat fisik material adalah tegangan (*stress*), regangan (*strain*), dan Modulus Young. Ketiga besaran ini diperoleh dengan melakukan uji tarik terhadap material yang akan diukur. Uji tarik merupakan salah satu pengujian sifat fisik yang melibatkan deformasi material di bawah tekanan tertentu. Uji tarik dapat dilakukan menggunakan autograph.

Tegangan (*stress*) adalah besarnya gaya (F) yang diberikan pada material yang diuji persatuan luas material (A). Hubungan antara besarnya gaya yang diberikan dengan besarnya tegangan ditunjukkan pada persamaan (Saunders, 2015):

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.3)$$

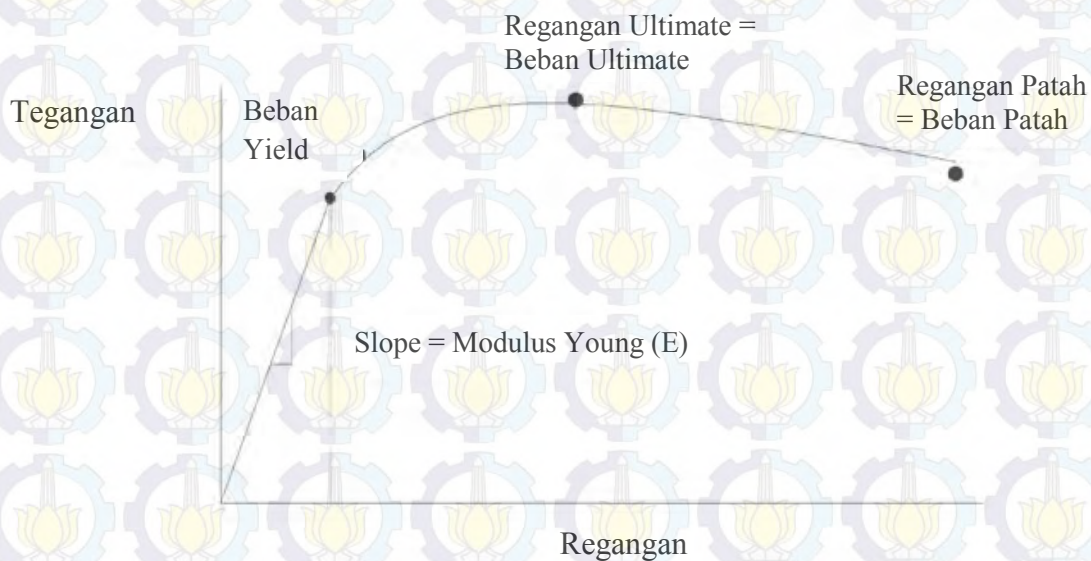
Regangan (strain) adalah perbandingan mula-mula akibat suatu gaya dengan arah sejajar perubahan panjang tersebut. Kemiringan kurva tegangan-regangan untuk mendapatkan Modulus Young ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Hubungan antara regangan dengan perubahan panjang ditunjukkan pada persamaan (Saunders, 2015) :

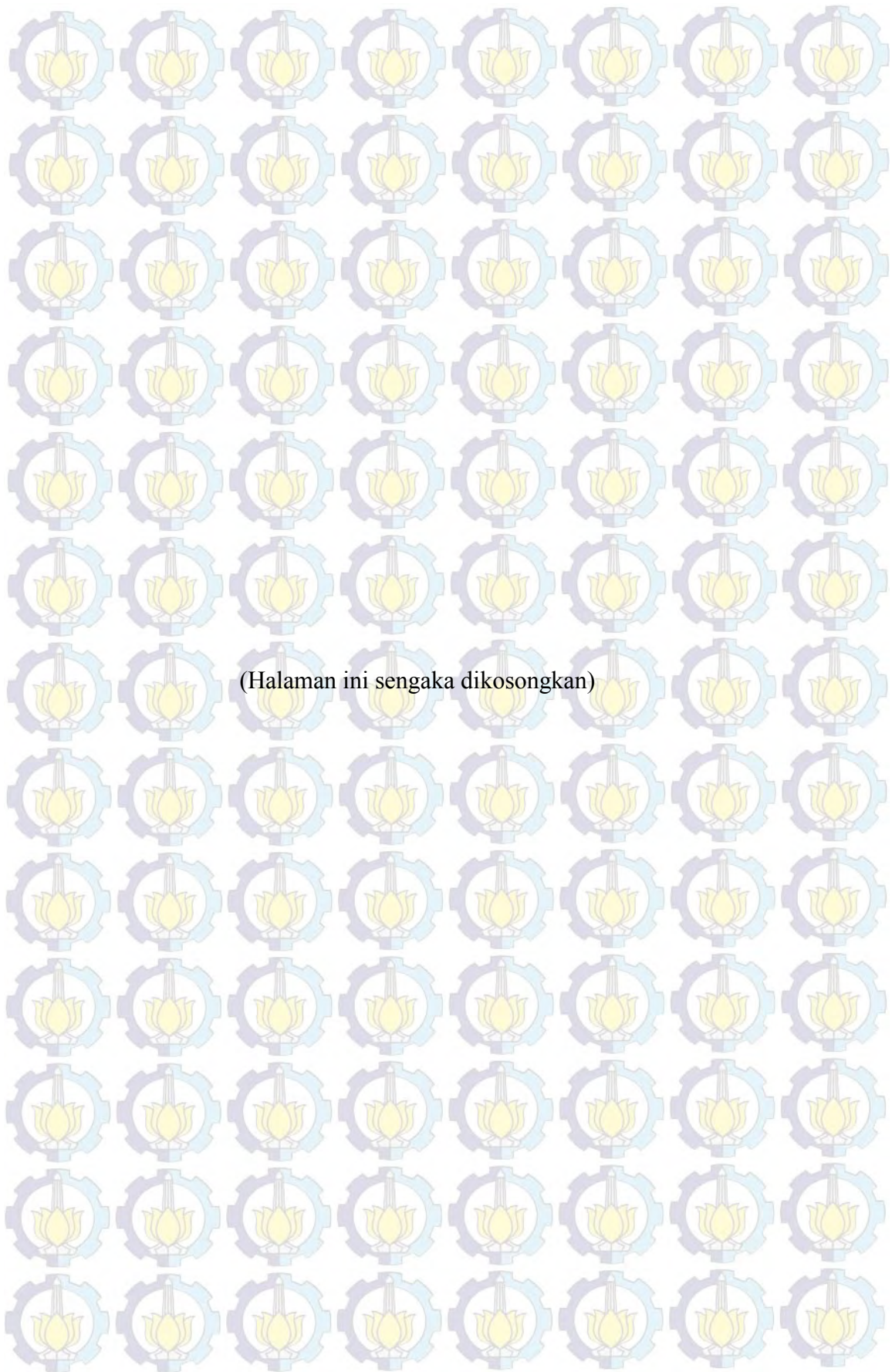
$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.4)$$

Modulus Young (E) adalah kemiringan dari kurva tegangan-regangan sebelum tercapai hasil tegangan. Persamaannya adalah sebagai berikut (Saunders, 2015):

$$E = \frac{\sigma}{\Delta \varepsilon} \quad (2.5)$$



Gambar 2.6 Kurva Tegangan-regangan (Diadaptasi dari Saunders (2015))



BAB 3 METODE PENELITIAN

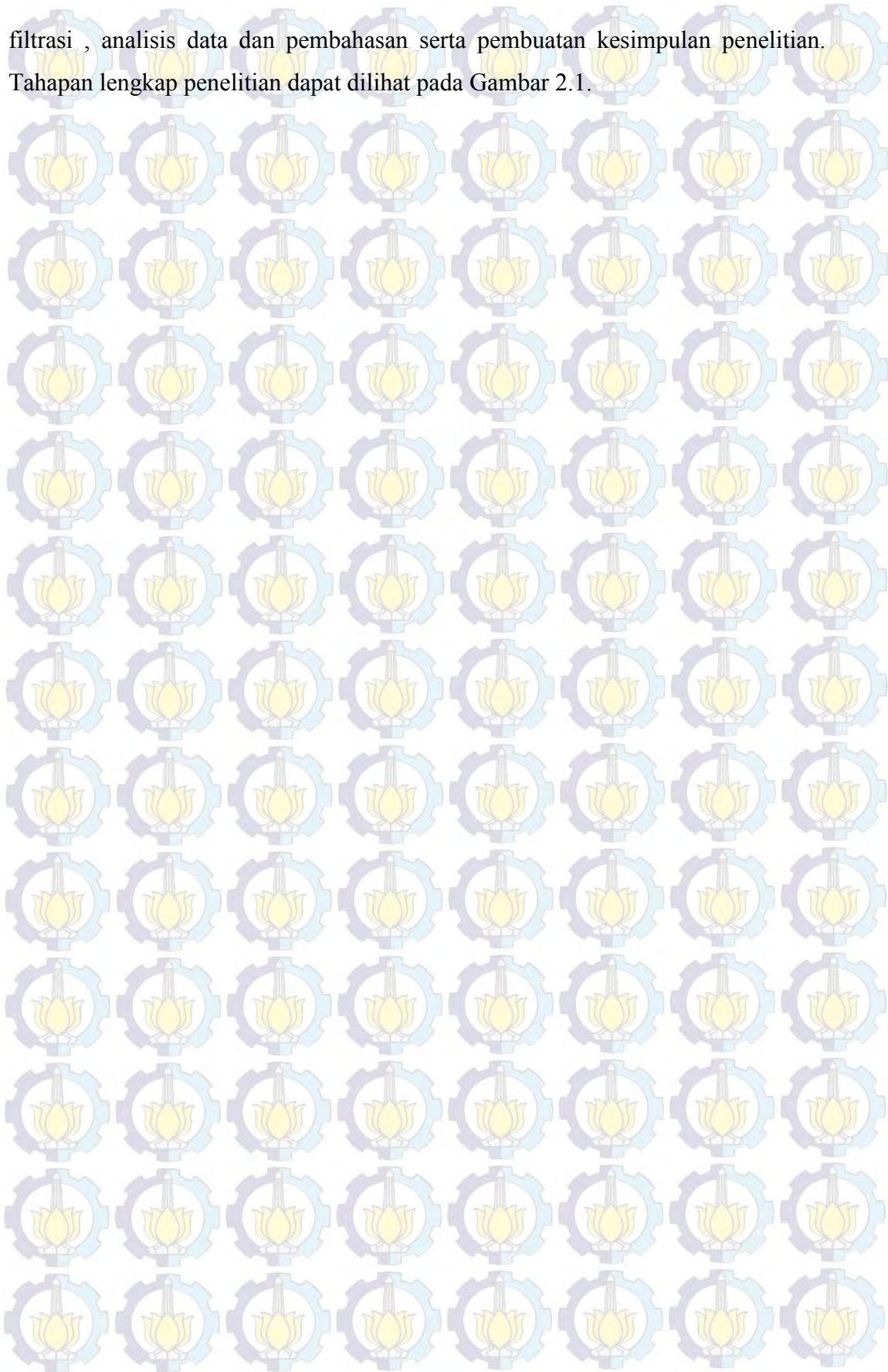
Penelitian ini memanfaatkan zeolit dan silika sebagai material membran filtrasi. Proses filtrasi dilakukan pada reaktor dengan aliran *cross flow* selama 100 menit dengan lima kali pengambilan sampel dari permeat filtrasi. Variabel pada penelitian ini adalah massa penambahan silika pada membran, kecepatan *centrifuge* dan konsentrasi limbah cair. Variabel bebas dan level penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1. Limbah cair yang digunakan adalah limbah cair batik yang didapatkan dari industri batik di daerah Jetis Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur. Membran filtrasi kemudian dikarakterisasi menggunakan SEM, EDX dan uji kuat tarik untuk menganalisis morfologi, kandungan unsur dan kekuatan membran. Kinerja membran dianalisis dengan nilai rejeksi parameter yang ditentukan yaitu TSS, COD dan warna serta nilai fluks.

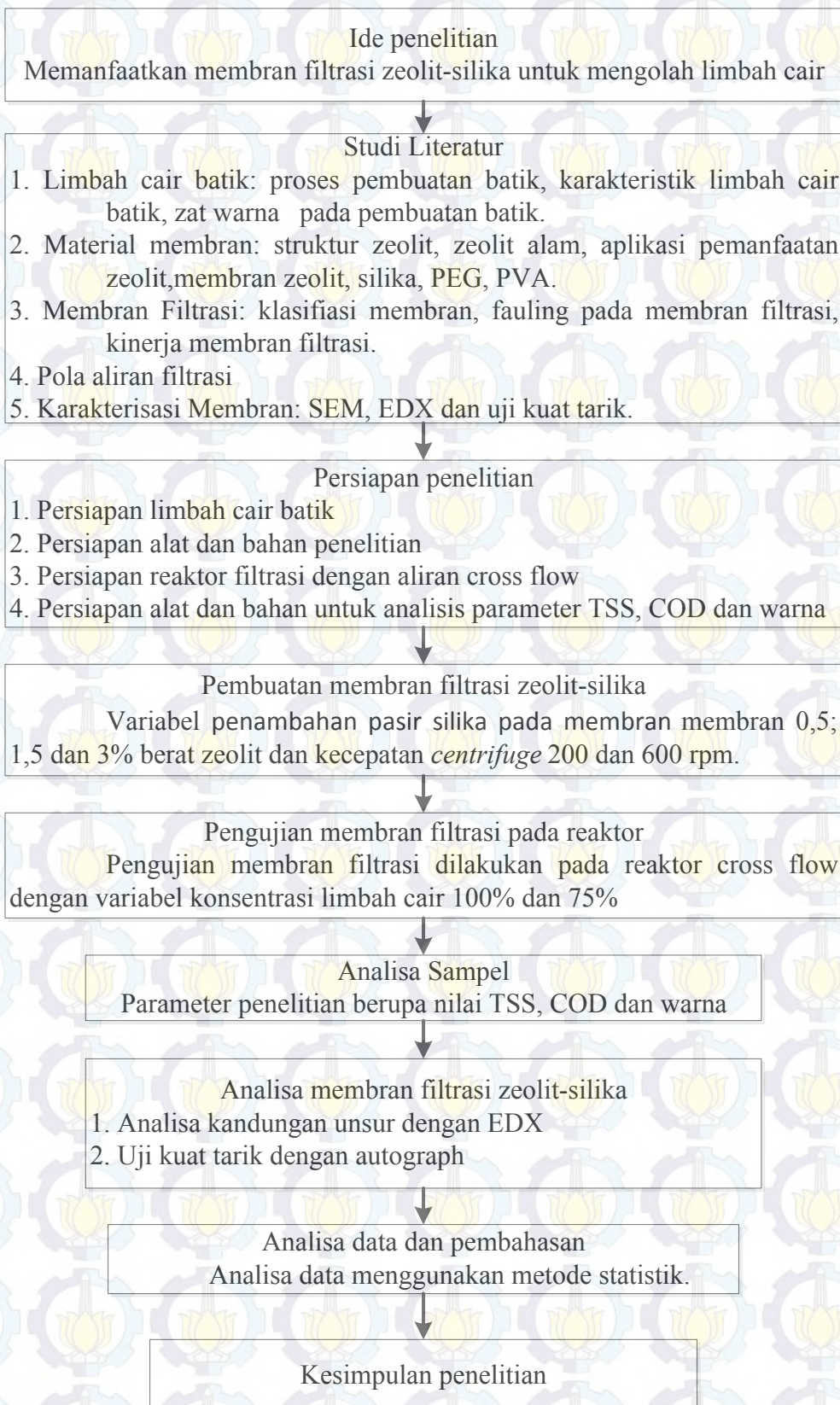
Tabel 3.1 Variabel dan Level Penelitian

Massa Penambahan silika (% massa zeolit)	Kecepatan Pengadukan (rpm)	Konsentrasi Limbah limbah : PDAM (% volume)
0,5	200	100%
		75%
	600	100%
		75%
1,5	200	100%
		75%
	600	100%
		75%
3	200	100%
		75%
	600	100%
		75%

Tahapan penelitian yang dilakukan secara garis besar meliputi: pengkajian ide penelitian, studi literatur, persiapan penelitian, pembuatan membran filtrasi, pengujian membran filtrasi pada reaktor, analisis membran

filtrasi , analisis data dan pembahasan serta pembuatan kesimpulan penelitian.
Tahapan lengkap penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.1.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Ide Penelitian

Ide penelitian ini berawal dari banyaknya penelitian yang memanfaatkan zeolit dan silika sebagai media untuk mengolah limbah cair. Sehingga penulis ingin memanfaatkan material yang banyak terdapat di Indonesia ini untuk mengatasi permasalahan limbah yang ada di Indonesia. Salah satu permasalahan limbah yang sering terjadi adalah pembuangan limbah cair yang tidak memenuhi baku mutu lingkungan ke badan air tanpa melalui proses pengolahan. Seperti limbah cair industri batik yang merupakan salah satu jenis industri tekstil di Indonesia. Jenis limbah yang digunakan adalah limbah cair dari proses pewarnaan batik. Limbah cair dari proses pewarnaan batik atau tekstil yang mengandung pewarna ini difiltrasi menggunakan membran.

Material yang digunakan pada pembuatan membran untuk mengolah limbah cair dalam reaktor aliran *cross flow* adalah zeolit dan silika. Dengan variasi massa penambahan silika pada pembuatan membran, kecepatan *centrifuge* dan konsentrasi limbah, penulis dapat menganalisis kondisi optimal membran filtrasi berdasarkan nilai persentase rejeksi dan fluks membran.

3.2 Studi Literatur

Penelitian yang dilakukan harus mengacu pada penelitian-penelitian terdahulu sehingga diperlukan studi literatur untuk menunjang data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Studi literatur menggunakan referensi ilmiah seperti jurnal, buku, tesis, skripsi, *chapter book*, *proceeding* seminar dan aturan pemerintah.

Studi literatur juga digunakan untuk mengumpulkan data sekunder penelitian. Data sekunder penelitian berupa diameter optimum zeolit dan pembuatan membran filtrasi. Adapun studi literatur untuk tinjauan pustaka yang dilakukan adalah:

1. Limbah cair batik, meliputi: proses pembuatan batik, karakteristik limbah cair batik, zat warna pada pembuatan batik.
2. Material membran, meliputi: struktur zeolit, zeolit alam, aplikasi pemanfaatan zeolit, membran zeolit, silika, *polyethylene glycol* (PEG), *polyvinyl alcohol* (PVA).

3. Membran Filtrasi, meliputi: klasifikasi membran, *fouling* pada membran filtrasi, kinerja membran filtrasi.
4. Pola aliran filtrasi
5. Karakterisasi Membran: EDX dan uji kuat tarik.

3.3 Persiapan Penelitian

Limbah cair pewarnaan batik yang digunakan diambil Limbah di daerah Jetis Sidoarjo. Limbah ditampung menggunakan jirigen menuju Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya dan diletakkan pada suhu kamar. Parameter yang dianalisis dari limbah cair batik ini adalah nilai TSS, COD dan warna. Sampel limbah awal kemudian dianalisis nilai TSS, COD dan warna. Analisis sampel awal selalu dilakukan pada saat pengujian membran menggunakan reaktor aliran *cross flow*.

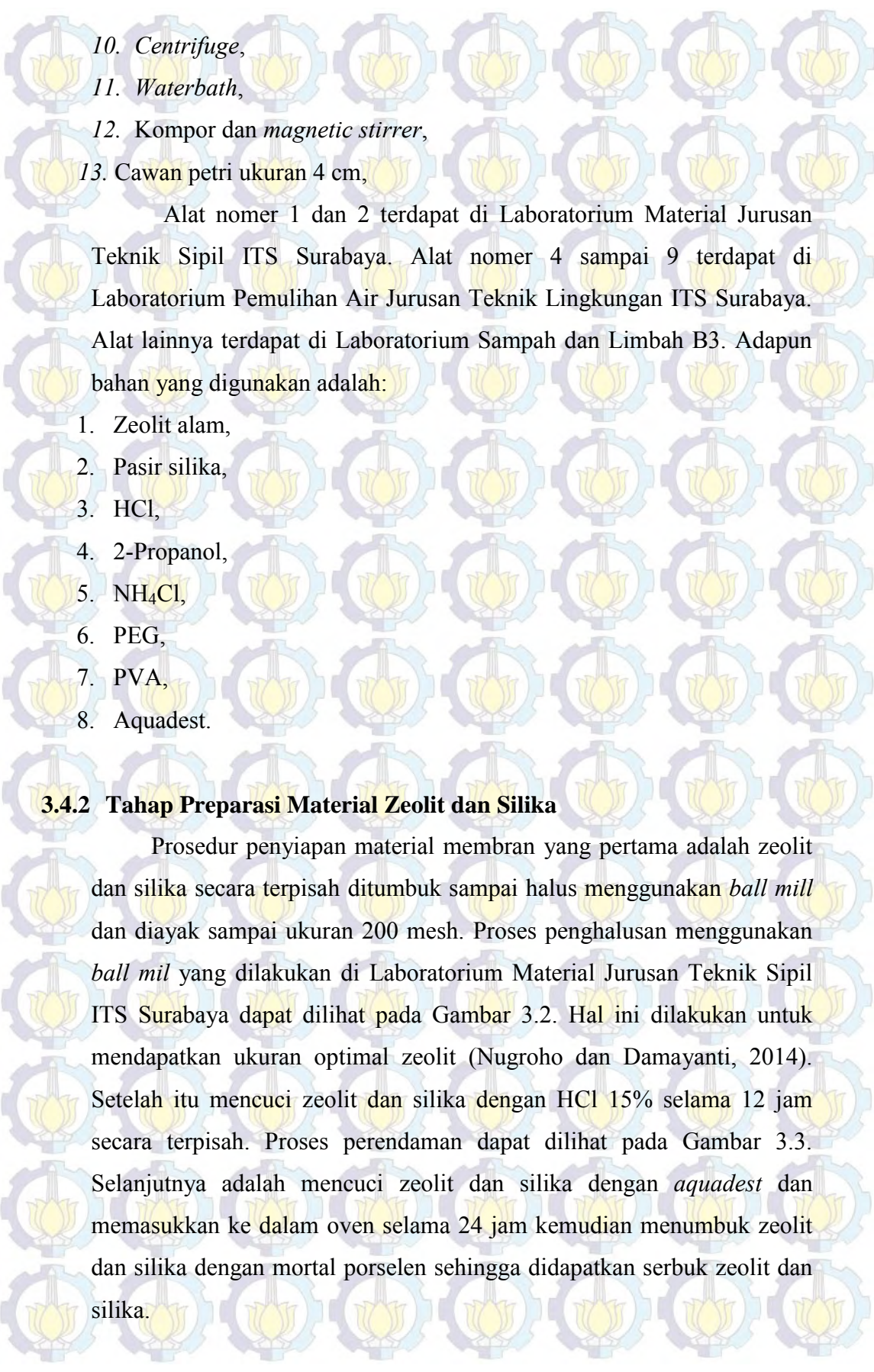
Persiapan alat dan bahan untuk pembuatan membran, analisis parameter penelitian dan pengujian membran menggunakan reaktor dilakukan di Laboratorium Pemulihan Air Laboratorium Sampah dan Limbah B3 Jurusan dan Workshop Jurusan Teknik Lingkungan serta Laboratorium Material Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS Surabaya.

3.4 Pembuatan Membran Filtrasi

3.4.1 Tahap Persiapan Alat dan Bahan

Tahapan awal pembuatan membran adalah penyiapan alat dan bahan. Alat yang digunakan dalam pembuatan membran adalah:

1. *Ball mill*,
2. Ayakan 200 mesh,
3. Oven,
4. Mortar Porselen,
5. Gelas beaker,
6. Gelas ukur,
7. Erlenmeyer,
8. Neraca analitik,
9. Spatula kaca dan logam,

- 
10. *Centrifuge*,
 11. *Waterbath*,
 12. Kompor dan *magnetic stirrer*,
 13. Cawan petri ukuran 4 cm,

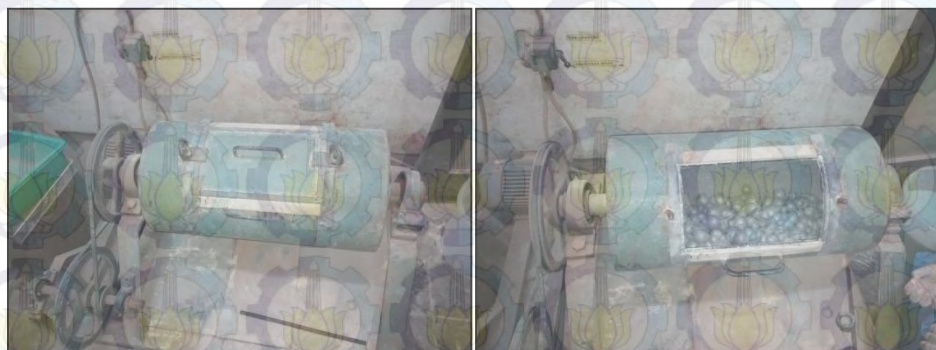
Alat nomer 1 dan 2 terdapat di Laboratorium Material Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya. Alat nomer 4 sampai 9 terdapat di Laboratorium Pemulihan Air Jurusan Teknik Lingkungan ITS Surabaya.

Alat lainnya terdapat di Laboratorium Sampah dan Limbah B3. Adapun bahan yang digunakan adalah:

1. Zeolit alam,
2. Pasir silika,
3. HCl,
4. 2-Propanol,
5. NH_4Cl ,
6. PEG,
7. PVA,
8. Aquadest.

3.4.2 Tahap Preparasi Material Zeolit dan Silika

Prosedur penyiapan material membran yang pertama adalah zeolit dan silika secara terpisah ditumbuk sampai halus menggunakan *ball mill* dan diayak sampai ukuran 200 mesh. Proses penghalusan menggunakan *ball mil* yang dilakukan di Laboratorium Material Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya dapat dilihat pada Gambar 3.2. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan ukuran optimal zeolit (Nugroho dan Damayanti, 2014). Setelah itu mencuci zeolit dan silika dengan HCl 15% selama 12 jam secara terpisah. Proses perendaman dapat dilihat pada Gambar 3.3. Selanjutnya adalah mencuci zeolit dan silika dengan *aquadest* dan memasukkan ke dalam oven selama 24 jam kemudian menumbuk zeolit dan silika dengan mortal porselen sehingga didapatkan serbuk zeolit dan silika.



Gambar 3.2 Proses Penghalusan Ukuran Partikel Zeolit



Gambar 3.3 Proses Perendaman Material dengan HCl

3.4.3 Tahap Pembuatan Larutan Membran

Langkah pertama yaitu menimbang serbuk zeolit dan silika berdasarkan variabel penelitian. Serbuk zeolit dan silika dimasukkan ke dalam botol *centrifuge* kemudian ditambahkan 35 mL 2-Propanol. Campuran tersebut *dicentrifuge* selama 20 menit dengan variasi kecepatan *centrifuge* berdasarkan variabel penelitian yaitu 200 dan 600 rpm. Selanjutnya endapan dimasukkan ke gelas beaker yang telah berisi campuran 3,5 gram NH_4Cl dan 200 mL aquades kemudian diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 1 jam. Proses pengadukan dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Proses Pengadukan Menggunakan *Magnetic Stirrer*

3.4.4 Tahap Pencetakan Membran

Zeolit dan silika yang telah distirer kemudian didiamkan agar mengendap. Cairan aquadest dipisahkan sedangkan endapan ditambahkan PVA dan PEG. PVA yang digunakan adalah PVA yang telah dilarutkan sebelumnya menggunakan *waterbath*. Hal ini dilakukan agar PVA tidak menggumpal pada saat ditambahkan ke dalam larutan zeolit dan silika karena PVA tidak bisa larut dalam air pada suhu kamar. 25 gram PVA dilarutkan ke dalam 150 mL aquadest dengan suhu 95 °C sampai melarut sempurna. Setiap 15 gram zeolit ditambahkan 50 mL PVA dan 20 mL PEG.

Komposisi PVA dan PEG berpengaruh pada membran yang dihasilkan. Penambahan PVA dapat memperbaiki struktur, meningkatkan kekuatan dan menstabilkan membran (Farha *et al*, 2012). Akan tetapi penambahan PVA berlebih akan menghasilkan membran yang kuat tetapi tidak memiliki pori karena permukaan membran terlapisi oleh larutan PVA. Sedangkan penambahan PEG sebagai senyawa *biocompatible*, *highly hydrophilic* dan *anti fouling* dapat memperbanyak pori dan meningkatkan interkoneksi pori pada membran (Liu dkk, 2012). Campuran zeolit, silika, PVA dan PEG dipanaskan dengan pengadukan

pada suhu 150 °C - 180 °C sampai campuran mengental. Pemanasan diatas suhu 180 °C dapat membuat membentuk kerak pada dasar beker gelas. Proses pemanasan dapat dilihat pada Gambar 3.5. Campuran yang telah mengental kemudian dicetak pada cawan petri berdiameter 4 cm dan didiamkan sampai mengeras pada suhu ruang. Proses pencetakan membran pada cawan petri dapat dilihat pada Gambar 3.6. Metode detail pembuatan membran dapat dilihat pada Lampiran 1. Membran yang sudah kering dianalisis menggunakan SEM EDX untuk mengetahui morfologi dan kandungan unsur pada membran tersebut.



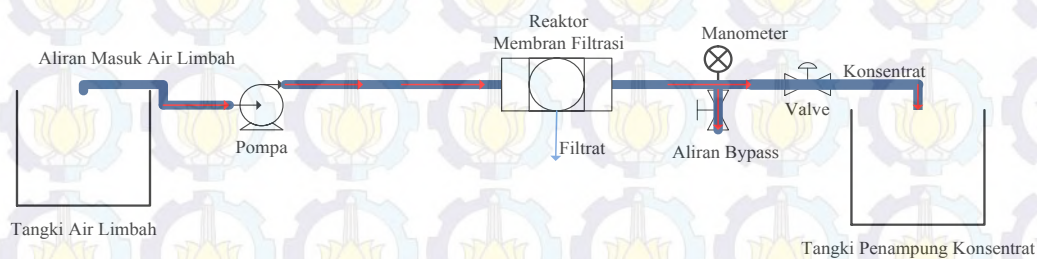
Gambar 3.5 Proses pemanasan dengan penambahan PVA dan PEG



Gambar 3.6 Proses Pencetakan Membran Filtrasi Zeolit Silika

3.5 Pengujian Membran Filtrasi pada Reaktor

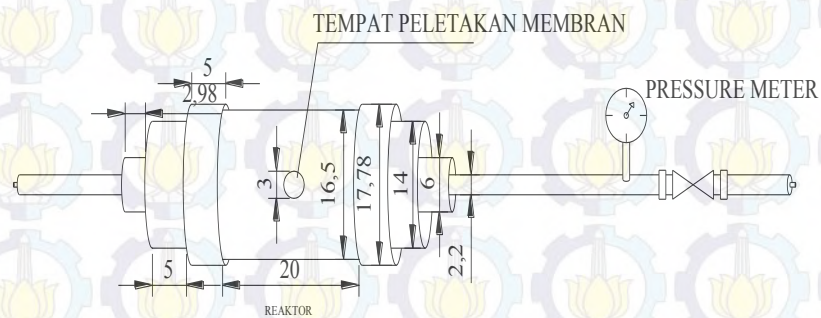
Rangkaian alat pada pengujian proses filtrasi seperti pada Gambar 3.7. Membran diletakkan ke dalam reaktor sebagai media filtrasi. Limbah dialirkan menggunakan rangkaian pipa PVC yang dilengkapi dengan valve dan *pressure gauge* untuk mengatur tekanan dan arah aliran. Limbah ditempatkan ke dalam storage kemudian dialirkan dengan pola aliran *cross flow*. Aliran *cross flow* dipilih karena penggunaan tekanan yang lebih kecil sehingga dapat memperkecil biaya operasi. Selain itu juga dapat mencegah terjadinya *fouling* yang dapat menurunkan kinerja membran. Permeat hasil filtrasi ditampung menggunakan gelas ukur dan kemudian dilakukan pengujian hasil filtrasi. Pengujian membran pada reaktor dilakukan sebanyak 2 kali untuk masing-masing variabel penelitian. Gambar reaktor yang digunakan untuk penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.8 sedangkan desain beserta ukuran reaktor dapat dilihat pada Gambar 3.9. Komponen pendukung reaktor adalah (1) pompa booster, (2) *water mur* dan (3) *pressure gauge*.



Gambar 3.7 Skema Aliran *Cross flow* Filtrasi Air Limbah



Gambar 3.8 Reaktor *Cross flow* Penelitian



Gambar 3.9 Desain Reaktor *Cross flow*

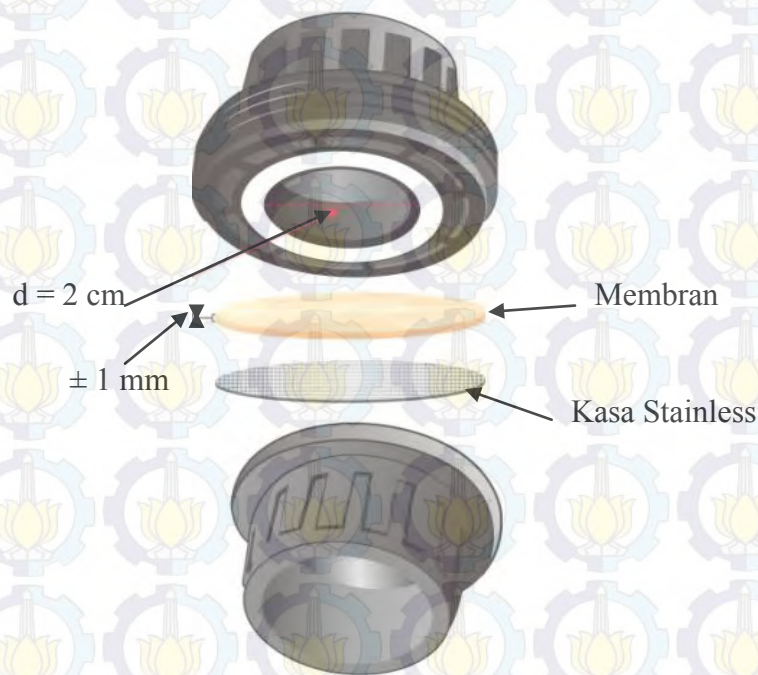
Pompa yang digunakan pada penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 3.10 adalah pompa *reverse osmosis pressure booster pump*. Pompa jenis ini memiliki tekanan operasi yang sesuai untuk digunakan pada reaktor filtrasi. Adapun spesifikasi lengkap pompa adalah sebagai berikut:

Jenis pompa	: <i>Booster pump</i>
Open flow	: 140 liter/jam
Work flow	: 96 liter/jam
Voltase	: 24 V DC
Ampere	: 1,6 ampere @ 4,83 bar
Work Pressure	: 4,83 bar
Maximum pressure	: 8,96 bar
Merk produk	: JFLO nomer model 1000



Gambar 3.10 Pompa Booster

Sampel didapatkan dari permeat proses filtrasi. Permeat keluar dari lubang water mur pada reaktor. Gambar water mur dan cara peletakan membran dapat dilihat pada Gambar 3.11. Sampel yang dianalisis adalah sampel awal limbah sebelum proses filtrasi dan sampel limbah setelah proses filtrasi setiap waktu pengujian 20 menit. Kinerja membran diukur dengan nilai fluks dan nilai rejeksi.



Gambar 3.11 Penyusunan Membran Pada *Water Mur*

Pengaturan tekanan dilakukan dengan mengontrol *pressure gauge* yang dipasang sebelum valve by pass. Gambar *pressure gauge* yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.12. Spesifikasi *pressure gauge* adalah sebagai berikut:

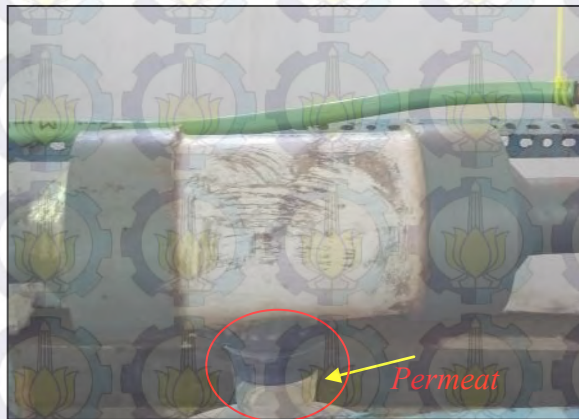
Tekanan maksimum	:10 bar
Diameter	:2,5 inchi
<i>Thread</i>	: 0,25 inchi
Merk produk	:Jason



Gambar 3.12 *Pressure Gauge* 10 bar

3.6 Analisis Sampel

Limbah cair industri batik yang telah diujikan pada reaktor *cross-flow* menghasilkan permeat. Gambar 3.13 merupakan gambar keluarnya permeat pada reaktor. Permeat yang dihasilkan tiap 20 menit selama 100 menit pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui nilai TSS, COD dan warna. Tahapan Analisis dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 3.13 Titik Pengambilan Sampel

3.7 Karakterisasi Membran Filtrasi

Karakterisasi membran dilakukan dengan SEM, EDX dan uji kuat tarik. Metode SEM dengan kombinasi EDX selain dapat mengetahui morfologi dari suatu zat dapat juga diketahui kandungan unsur yang ada dalam suatu senyawa sedangkan uji tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan membran.. Membran

yang akan diujikan terlebih dahulu dikeringkan. Membran yang telah kering dibekukan dengan nitrogen cair, kemudian dipatahkan dan ditempelkan pada holder. Membran kemudian dilapisi emas lalu dimasukkan ke dalam chamber. Langkah terakhir adalah dilakukan pemotretan terhadap permukaan dan penampang melintang membran. Morfologi membran ditemukan pada perbesaran tertentu.

Sifat mekanik membran ditentukan dengan uji tarik. Membran dipotong berukuran 6 x 1 cm kemudian ujung-ujung dikaitkan dengan alat uji dan beban penarik. Beban penarik dipasang pada suatu beban kN (kilo Newton). Membran ditarik hingga terputus sehingga didapatkan besaran beban penarik dan perubahan panjang membran. Alat yang digunakan untuk uji tarik disebut *autograph*.

3.8 Analisis Data dan Pembahasan

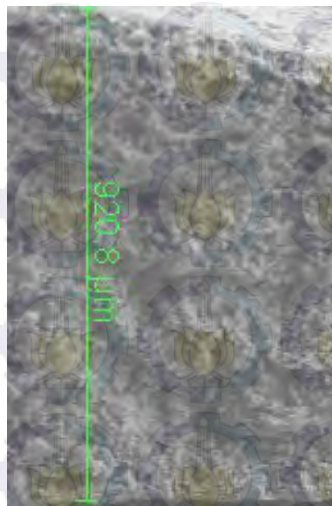
Data yang didapatkan dari penelitian kemudian dilakukan analisis dan pembahasan dengan menggunakan metode statistik. Pembahasan dilakukan untuk membandingkan parameter-parameter uji dalam penelitian yaitu TSS, COD dan warna. Sedangkan kinerja membran dinilai dari koefisien rejeksi dan nilai fluks membran.

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1 Pembuatan Membran

Membran yang telah dicetak dan didiamkan pada suhu ruang kemudian dioven pada suhu 70 °C selama 1 jam. Tujuan dari perlakuan ini adalah untuk menghilangkan kadar air yang terkandung pada membran sehingga dapat meningkatkan luas permukaan dan kepadatan membran. Membran memiliki ketebalan ± 1 mm. Hasil pengukuran dengan mikrometer diperkuat dengan analisis tampak samping membran dengan SEM. Hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Hasil Pengukuran Ketebalan Membran Menggunakan SEM

Secara fisik, membran memiliki karakteristik:

1. Tekstur permukaan membran halus dan kering,
2. Keras dan padat,
3. Diameter membran 4 cm,
4. Ketebalan membran ± 1 mm.

4.2 Pengujian Membran Pada Reaktor

Membran diujikan pada reaktor dengan aliran *cross flow* selama 100 menit. Pengambilan permeat dilakukan setiap 20 menit sehingga didapatkan 5 sampel setiap kali pengujian membran. Diameter aktif membran sebagai media filtrasi adalah 2 cm sesuai dengan lubang *water mur*. Permukaan membran yang telah diuji berwarna merah dan terdapat padatan-padatan yang menempel. Gambar 4.2 menunjukkan membran yang telah digunakan sebagai media filtrasi.



Gambar 4.2 Membran Setelah Pengujian

Permeat hasil filtrasi yang didapatkan kemudian dianalisis nilai rejeksi dan fluks untuk mengetahui efektifitas membran. Contoh salah satu sampel hasil filtrasi dapat dilihat pada Gambar 4.3. Secara visual, sampel menunjukkan perubahan warna dari merah menjadi kekuningan karena telah mengalami proses filtrasi. Hal ini disebabkan kandungan zat warna merah tertahan pada membran.



Gambar 4.3 Sampel dari Permeat Hasil Filtrasi

4.3 Analisis Nilai Rejeksi TSS

Nilai permselektivitas membran terhadap padatan tersuspensi pada limbah cair batik dapat dilihat dari nilai rejeksi TSS. Membran dapat menyaring padatan tersuspensi pada limbah cair batik. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Keterangan nama membran yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. 0,5 : untuk massa penambahan silika 0,5% dari massa zeolit,
2. 1,5 : untuk massa penambahan silika 1,5% dari massa zeolit,
3. 3 : untuk massa penambahan silika 3% dari massa zeolit,
4. A : untuk kecepatan *centrifuge* 200 rpm,
5. B : untuk kecepatan *centrifuge* 600 rpm,
6. X : untuk pengujian dengan konsentrasi limbah cair 100%,
7. Y : untuk pengujian dengan konsentrasi limbah cair 75%.

Tabel 4.1 Nilai Rejeksi TSS Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%

Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AX	1,5AX	3AX	0,5BX	1,5BX	3BX
20	48,94	59,04	75,56	19,97	31,41	79,38
40	37,57	26,54	66,32	62,01	36,92	75,25
60	67,99	68,27	82,42	52,11	75,13	62,88
80	68,52	54,42	74,93	73,86	60,38	75,25
100	58,47	64,52	74,31	76,14	74,87	89,90

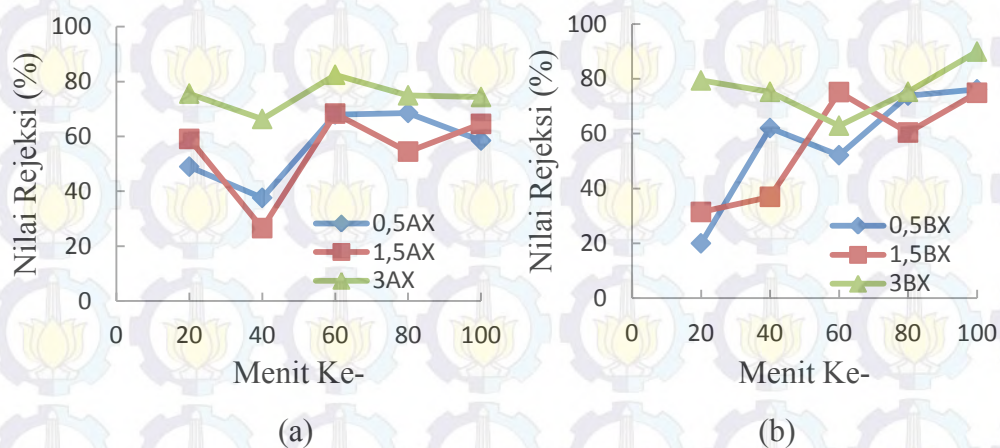
Tabel 4.2 Nilai Rejeksi TSS Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%

Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AY	1,5AY	3AY	0,5BY	1,5BY	3BY
20	52,07	66,05	66,27	69,91	25,13	77,83
40	50,09	69,93	62,81	37,74	35,46	68,87
60	52,07	67,50	70,60	60,57	29,13	66,51
80	58,71	63,14	66,27	48,24	57,57	79,72
100	54,31	61,68	66,27	69,72	71,11	74,06

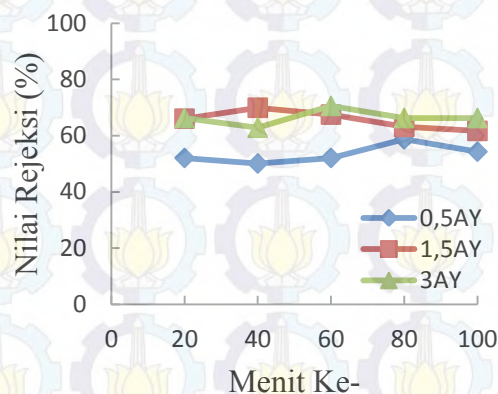
Nilai rejeksi membran zeolit silika terbesar didapatkan dari filtrasi menggunakan membran dengan massa penambahan silika sebesar 3% dari massa zeolit. Penambahan silika dapat memperkuat membran dan mengisi ruang kosong pada zeolit. Penambahan silika juga dapat meningkatkan kadar silika pada membran sehingga kemampuan membran sebagai *molecular sieving* atau penyaring akan meningkat. Pada Gambar 4.4 dan 4.5, nilai rejeksi terbesar pada membran dengan kecepatan *centrifuge* dan konsentrasi limbah yang sama dimiliki oleh membran dengan massa penambahan silika sebesar 3%.

Pengaruh variabel kecepatan *centrifuge* pada konsentrasi 100% dapat terlihat dari Gambar 4.4 (a) dan (b). Nilai rejeksi TSS pada menit ke 100 untuk membran dengan kecepatan *centrifuge* 600 rpm bernilai diatas 70% sedangkan membran dengan kecepatan *centrifuge* 200 rpm berkisar 50-70%. Keterangan nilai rejeksi TSS lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.1. Gambar 4.5 (a) dan (b) dengan konsentrasi air limbah 75% juga menunjukkan bahwa nilai rejeksi TSS pada kecepatan 600 rpm lebih tinggi dari pada kecepatan 200 rpm.

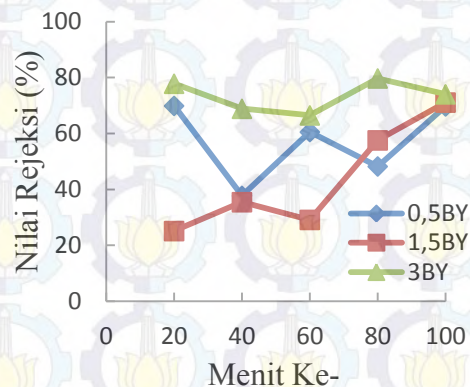
Variabel penelitian yang terakhir adalah konsentrasi limbah cair pada saat pengujian dengan menggunakan reaktor filtrasi beraliran *cross flow*. Gambar 4.4 dan 4.5 menunjukkan bahwa filtrasi dengan konsentrasi limbah cair 100% memiliki nilai rejeksi yang lebih tinggi.



Gambar 4.4 Perbedaan Nilai Rejeksi TSS Penambahan Silika Membran dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%



(a)



(b)

Gambar 4.5 Perbedaan Nilai Rejeksi TSS Penambahan Silika Membran dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%

4.4 Analisis Nilai Rejeksi (*removal*) COD

Persen *removal* COD pada pengujian membran filtrasi dapat disebut sebagai nilai rejeksi COD membran. Nilai rejeksi COD membran dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan 4.4. COD pada limbah cair batik dari proses pewarnaan berkisar antara 4000-5000 mg/L. COD terdiri dari COD *soluble* dan COD *settleable*. Limbah cair batik yang digunakan pada penelitian ini memiliki nilai COD *soluble* lebih besar dari COD *settleable*. Nilai rejeksi COD tertinggi adalah 72,86 %. Nilai ini diperoleh dari membran dengan massa penambahan silika 3% kecepatan, *centrifuge* 600 rpm dan pengujian limbah cair batik 100% sedangkan pada membran yang lain hanya berkisar 30-60%. Hal ini dikarenakan COD *soluble* yang terdapat pada limbah cair lebih besar dari pada COD *settleable*. Membran sebagai *molecular sieving* lebih efektif menyaring COD *settleable* pada limbah cair karena ukuran dan keseragaman pori yang ada pada membran.

Tabel 4.3 Nilai Rejeksi COD Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%

Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AX	1,5AX	3AX	0,5BY	1,5BX	3BX
20	0,00	28,57	36,00	9,44	1,85	50,00
40	3,18	30,19	33,00	10,51	20,30	45,71
60	17,34	32,45	35,00	14,26	29,37	62,86
80	22,08	20,48	40,00	26,01	40,15	68,57
100	32,38	35,01	40,00	32,77	70,04	72,86

Tabel 4.4 Nilai Rejeksi COD Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%

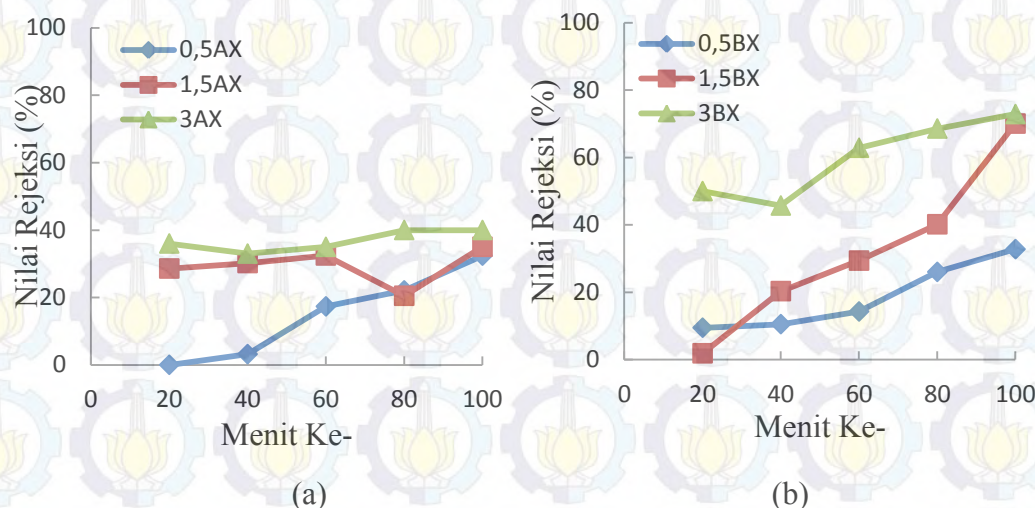
Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AY	1,5AY	3AY	0,5BY	1,5BY	3BY
20	18,54	29,23	22,65	39,47	17,94	40,64
40	13,56	43,08	12,72	34,21	51,50	22,71
60	13,56	40,00	22,28	56,58	26,85	54,39
80	45,32	33,85	49,71	50,00	62,04	58,58
100	50,48	46,15	47,21	52,63	50,35	71,25

Pengaruh massa penambahan silika dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan 4.7. Penambahan 3% massa silika menunjukkan nilai rejeksi COD yang paling besar dari pada penambahan 0,5 dan 1,5%. Pengaruh massa penambahan silika terhadap nilai rejeksi COD terlihat lebih jelas pada pengujian membran dengan konsentrasi limbah cair 100%.

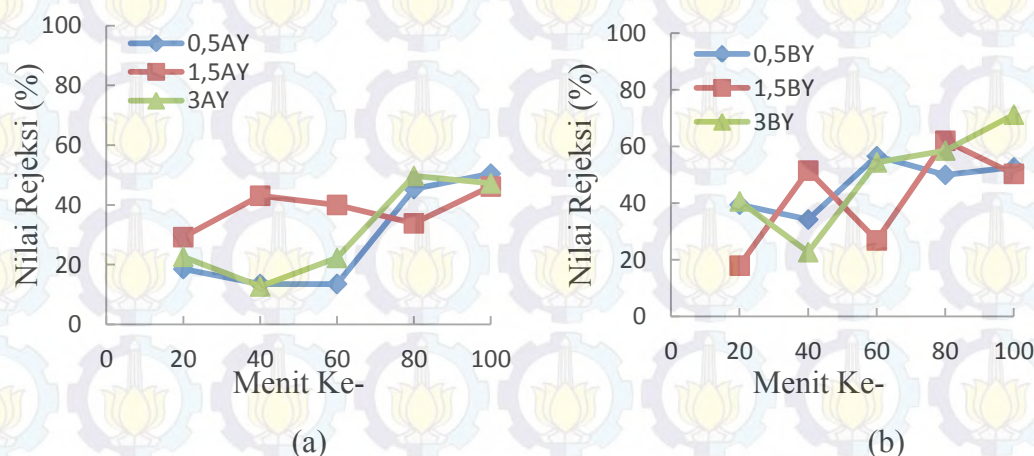
Pengaruh variabel kedua yaitu kecepatan *centrifuge* berdasarkan hasil penelitian adalah berbanding lurus. Besarnya nilai kecepatan *centrifuge* akan memperbesar nilai rejeksi COD pada membran. Hal ini dapat dilihat dengan membandingkan Gambar 4.6 (a) dan (b) serta 4.7 (a) dan (b). Membran dengan massa penambahan silika 3% pada pengujian limbah cair 100% memiliki nilai rejeksi dibawah 40% ketika pembuatan membran dilakukan dengan kecepatan *centrifuge* 200 rpm. Pada variabel penambahan silika dan konsentrasi limbah cair yang sama, membran memiliki nilai diatas 40% ketika pembuatan membran dilakukan dengan menggunakan kecepatan *centrifuge* 600 rpm.

Pengujian membran pada konsentrasi limbah cair 100% memiliki nilai rejeksi COD lebih tinggi dari pada pengujian dengan konsentrasi limbah cair 75%.

Hal ini disebabkan COD settleable limbah cair 100% lebih besar dari pada limbah cair konsentrasi 75% sehingga membran menunjukkan nilai rejeksi COD yang lebih tinggi pada pengujian dengan konsentrasi limbah cair 100%. Pengaruh konsentrasi limbah cair pada nilai rejeksi COD ini dapat dilihat dengan membandingkan Gambar 4.6 dan 4.7.



Gambar 4.6 Perbedaan Nilai Rejeksi COD Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%



Gambar 4.7 Perbedaan Nilai Rejeksi COD Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%

4.5 Analisis Parameter Warna

Nilai *permselektivitas* membran terhadap zat warna pada limbah cair batik dapat dilihat dari perubahan warna secara visual maupun menggunakan spektrofotometer pada permeat yang dihasilkan. Pada penelitian ini analisis warna dilakukan dengan spektrofotometer. Membran terbukti dapat menyaring zat warna merah yang digunakan pada proses pewarnaan batik. Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Nilai Rejeksi Warna Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%

Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AX	1,5AX	3AX	0,5BY	1,5BX	3BX
20	23,37	63,61	80,04	79,20	72,67	63,19
40	23,37	63,40	83,41	79,62	76,46	69,51
60	35,76	62,77	81,73	80,04	78,57	73,72
80	47,59	63,40	81,31	80,46	81,73	84,26
100	48,63	65,51	85,10	82,57	85,10	92,68

Tabel 4.6 Nilai Rejeksi Warna Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%

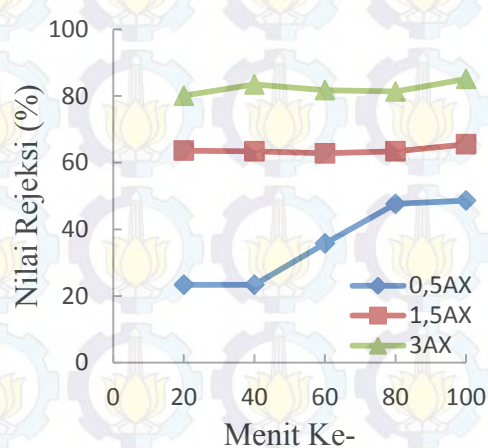
Menit Ke-	Nilai Rejeksi (%)					
	0,5AY	1,5AY	3AY	0,5BY	1,5BY	3BY
20	46,39	51,07	46,87	56,18	59,65	59,92
40	53,15	47,67	44,36	57,88	61,83	62,82
60	43,49	48,52	50,22	61,29	62,56	61,39
80	41,56	46,82	42,69	57,03	56,74	67,15
100	45,42	46,82	48,55	57,88	58,92	67,88

Nilai *permselektivitas* membran terhadap zat warna pada limbah cair pewarnaan batik dapat dilihat pada Gambar 4.8 dan 4.9. Pengaruh penambahan silika pada zeolit sebagai material membran dengan kecepatan *centrifuge* 200 rpm dapat dibandingkan dari Gambar 4.8 (a) sedangkan membran dengan kecepatan 600 rpm dapat dilihat pada Gambar 4.8 (b). Gambar menunjukkan bahwa penambahan silika sebesar 3% dari massa zeolit memiliki nilai rejeksi yang lebih besar dari pada penambahan silika sebesar 0,5 dan 1,5 %. Pada pengujian dengan konsentrasi limbah cair 75%, membran dengan kecepatan *centrifuge* 200 rpm ataupun 600 rpm menunjukkan hubungan yang sama.

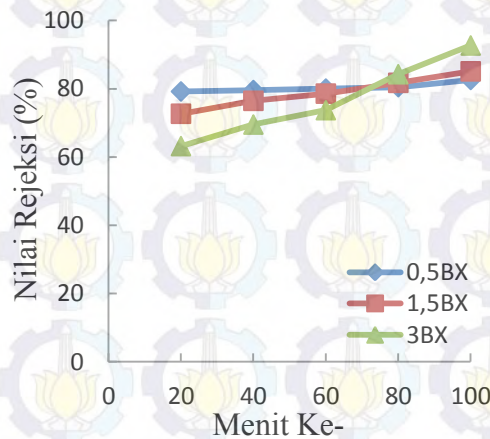
Hubungan tersebut dapat dilihat ada Gambar 4.9 (a) dan (b) yaitu bahwa massa penambahan silika 3% dari massa zeolit memiliki nilai rejeksi yang paling besar.

Pengaruh variabel kedua yaitu kecepatan *centrifuge* pada nilai rejeksi warna dapat dilihat dari Gambar 4.8 (a) dibandingkan dengan Gambar 4.8 (b) dan Gambar 4.9 (a) dibandingkan dengan Gambar 4.9 (b). Perbandingan Gambar 4.8 (a) dan (b) menunjukkan bahwa nilai rejeksi lebih tinggi dimiliki oleh membran dengan kecepatan *centrifuge* 600 rpm. Seperti halnya pada konsentrasi limbah cair 100%, pengujian membran dengan kecepatan *centrifuge* 600 rpm pada konsentrasi limbah cair 75% memiliki nilai rejeksi warna yang lebih tinggi. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 (a) dan (b).

Hubungan variabel yang ketiga adalah pengaruh konsentrasi limbah cair pada pengujian membran filtrasi. Hubungan ini dapat dilihat dengan membandingkan Gambar 4.8 (a) dan 4.8 (b) serta Gambar 4.9 (a) dan 4.9(b). Nilai rejeksi warna lebih besar ketika membran diujikan pada limbah dengan konsentrasi 100%. Selisih perbedaan nilai rejeksi antara pengujian dengan limbah cair 100% dan 75% pada kecepatan *centrifuge* 600 rpm berkisar antara 24-26 %.

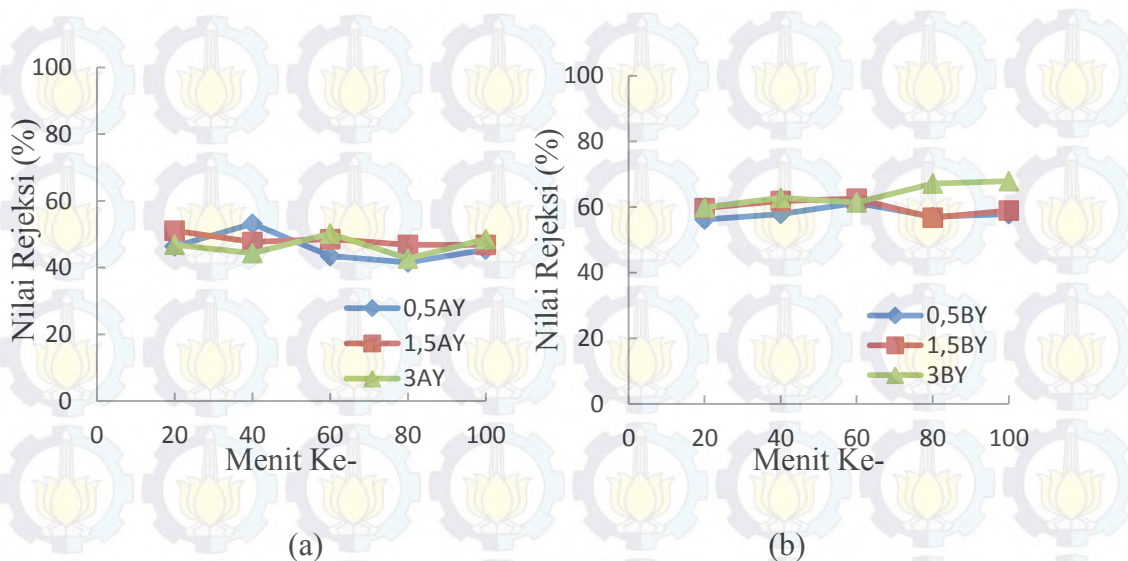


(a)



(b)

Gambar 4.8 Perbedaan Nilai Rejeksi Warna Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%



Gambar 4.9 Perbedaan Nilai Rejeksi Warna Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%

4.6 Analisis Nilai Fluks

Selain nilai rejeksi, kinerja membran filtrasi dapat dilihat dari nilai fluks membran. Nilai fluks atau permeabilitas membran dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan 4.9. Semakin lama proses filtrasi membuat nilai fluks membran semakin menurun. Hal ini mengindikasikan terjadinya *fouling* pada membran sehingga menyumbat pori-pori membran filtrasi. Penambahan PEG sebagai anti *fouling* (Su, 2009) pada membran filtrasi tidak dapat mencegah membran dari terjadinya *fouling*. Pada pengujian membran, *fouling* juga disebabkan oleh kecepatan aliran dan tekanan filtrasi.

Tabel 4.7 Nilai Fluks Membran dengan Konsentrasi Limbah 100%

Menit Ke-	Nilai Fluks ($L \cdot m^2 / jam$)					
	0,5AX	1,5AX	3AX	0,5BY	1,5BX	3BX
20	44,34	39,77	39,41	37,98	38,57	35,83
40	13,58	25,08	20,30	26,51	29,02	27,47
60	11,94	21,62	16,72	26,15	25,08	26,04
80	10,30	19,47	16,12	25,44	21,62	22,69
100	7,24	15,17	11,35	16,12	15,53	14,33

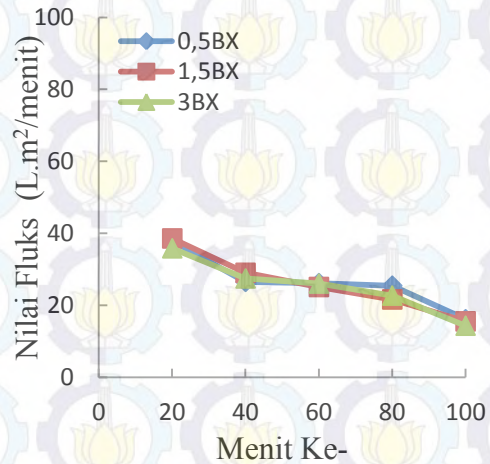
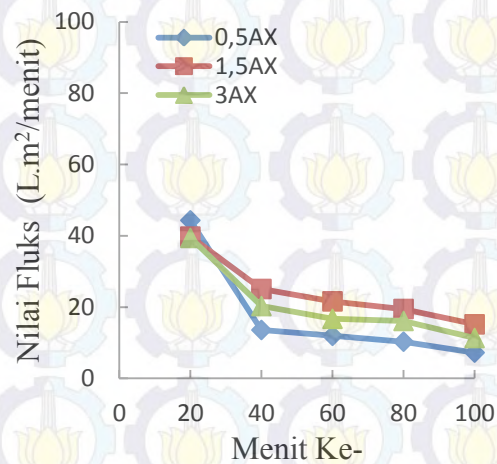
Tabel 4.8 Nilai Rejeksi Warna Membran dengan Konsentrasi Limbah 75%

Menit Ke-	Nilai Fluks ($L \cdot m^2/jam$)					
	0,5AY	1,5AY	3AY	0,5BY	1,5BY	3BY
20	54,94	60,91	36,72	45,68	44,19	36,43
40	36,43	45,08	17,17	37,62	41,80	28,96
60	30,16	35,83	14,18	31,05	32,84	27,17
80	25,38	34,04	12,54	30,45	28,66	25,98
100	24,18	31,05	11,79	27,17	20,30	23,29

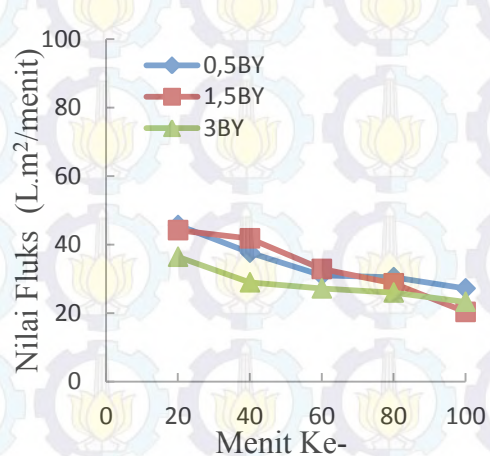
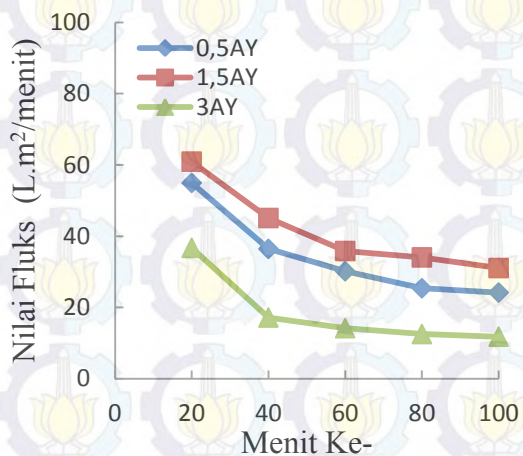
Gambar 4.10 dan 4.11 menunjukkan perbedaan nilai fluks dari membran filtrasi. Fluks yang dihasilkan oleh membran dengan massa penambahan silika 3% lebih kecil dari pada massa penambahan silika 0,5 dan 1,5%. Akan tetapi penurunan nilai fluks yang terbaik atau paling kecil terjadi pada membran dengan variabel massa penambahan silika 3%. Penurunan nilai fluks yang lebih kecil mengindikasikan bahwa *fouling* yang terjadi pada membran lebih kecil sehingga waktu pakai membran lebih lama.

Penurunan nilai fluks yang cepat mengindikasikan membran telah mengalami *fouling*. Pada Gambar 4.10 (a) dan 4.11 (a), terjadi penurunan besar nilai fluks terjadi pada menit ke 40. Penurunan nilai fluks tersebut lebih tajam dari pada Gambar 4.10 (b) dan 4.11 (b). Sehingga dapat disimpulkan bahwa, kecepatan *centrifuge* 600 rpm memiliki penurunan nilai fluks yang lebih kecil dari pada kecepatan *centrifuge* 200 rpm. Hal ini dikarenakan pori yang terbentuk pada membran lebih seragam dari pada kecepatan 200 rpm.

Pengujian membran pada konsentrasi limbah cair batik 75% memiliki nilai fluks yang lebih besar dari pada limbah cair catik dengan konsentrasi 100%. Karena kandungan TSS dan warna pada limbah cair 75% lebih kecil maka partikel yang menyebabkan *fouling* pada membran juga lebih kecil. Hal ini yang menyebabkan nilai fluks menjadi lebih besar. Membran dengan penurunan nilai fluks terkecil adalah membran dengan massa penambahan silika 3% dan kecepatan *centrifuge* 600 rpm pada pengujian konsentrasi limbah cair 75% yaitu dengan penurunan berkisar 1-7,5 %.



Gambar 4.10 Perbedaan Nilai Fluks Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 100%



Gambar 4.11 Perbedaan Nilai Fluks Penambahan Silika Membran Dengan (a) Kecepatan *Centrifuge* 200 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%, (b) Kecepatan *Centrifuge* 600 rpm dan Konsentrasi Limbah 75%

4.7 Analisis Statistik Pengaruh Persen Massa Penambahan Silika, Kecepatan *Centrifuge* dan Konsentrasi Limbah Terhadap Nilai Rejeksi dan Fluks

Analisis pengaruh variabel penelitian dilakukan dengan menggunakan analisis statistik. Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Analysis of Variance* (Anova). Metode Anova diujikan menggunakan program IBM SPSS 20. Prosedur Anova menggunakan variabel numerik tunggal yang diukur dari sejumlah sampel untuk menguji hipotesis nol dari populasi yang (diperkirakan) memiliki rata-rata hitung (mean) sama. Variabel yang digunakan harus berupa variabel kuantitatif. Analisis Anova dijabarkan per pengaruh massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge* dan konsentrasi air limbah terhadap nilai rejeksi TSS, COD dan warna serta nilai fluks membran.

Sebelum uji statistik menggunakan metode Anova, data penelitian terlebih dahulu harus dilakukan uji normalitas. Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data terdistribusi dengan normal. Jika data terdistribusi normal maka dapat dilanjutkan dengan uji statistik menggunakan Metode Anova. Hasil uji normalitas pada penelitian ini dapat dilihat pada Lampiran 4. Hasil uji normalitas menunjukkan data pada penelitian ini terdistribusi normal sehingga bisa diuji dengan metode Anova.

4.7.1 Pengaruh Terhadap Nilai Rejeksi TSS

Hipotesis 1 (Efek massa penambahan silika terhadap nilai rejeksi TSS)

H₀: efek dari massa penambahan silika pada penambahan 0,5 % massa zeolit = penambahan 1,5 % massa zeolit = penambahan 3 % massa zeolit (massa penambahan silika tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS).

H₁: paling tidak ada satu efek massa penambahan silika yang berbeda (massa penambahan silika signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS).

Hipotesis 2 (Efek kecepatan *centrifuge* terhadap nilai rejeksi TSS)

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS).

Hipotesis 3 (Efek konsentrasi limbah cair terhadap nilai rejeksi TSS)

- H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75%
(konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS)
- H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh
(konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS).

Hipotesis 4 (Efek waktu terhadap nilai rejeksi TSS)

- H₀: efek dari waktu pada menit ke-20 = ke-40 = ke-60 = ke-80 = ke-100
(waktu tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS).
- H₁: paling tidak ada satu efek waktu yang berbeda (waktu signifikan
berpengaruh terhadap nilai rejeksi TSS)

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh statistik uji pada Tabel 4.9. Berdasarkan Tabel 4.9 diperoleh hasil bahwa nilai signifikansi hanya untuk massa penambahan silika, dan waktu berpengaruh terhadap nilai TSS. Karena tidak seluruh faktor berpengaruh, maka selanjutnya dilakukan analisis *Tukey* untuk melihat perbedaan pada faktor massa penambahan silika dan efek waktu.

Tabel 4.9 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12898,687 ^a	8	1612,336	6,253	,000
Intercept	449611,934	1	449611,934	1743,704	,000
Waktu	4624,539	4	1156,135	4,484	,002
Massa	8042,172	2	4021,086	15,595	,000
Kecepatan	49,640	1	49,640	,193	,662
Konsentrasi	182,336	1	182,336	,707	,402
Error	28621,211	111	257,849		
Total	491131,832	120			
Corrected Total	41519,898	119			

Analisis *Tukey* digunakan untuk mengetahui perbedaan level di masing-masing faktor, sehingga dapat diketahui level mana yang memberi efek berbeda terhadap nilai rejeksi TSS. Analisis *tukey* selengkapnya dijelaskan sebagai berikut. Pada analisis *Tukey* juga digunakan rancangan hipotesis H_0 dan H_1 . Bentuk rancangan hipotesis yang digunakan dalam analisis yaitu sebagai berikut.

Hipotesis untuk Massa Penambahan Silika

H_0 : $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi TSS sama antara level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi TSS berbeda antara 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Analisis Uji *Tukey* untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

(I) massa_tss	(J) massa_tss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	1,0368	3,59060	,955	-7,4930	9,5665
	3,00	-16,8245*	3,59060	,000	-25,3542	-8,2948
2,00	1,00	-1,0368	3,59060	,955	-9,5665	7,4930
	3,00	-17,8613*	3,59060	,000	-26,3910	-9,3315
3,00	1,00	16,8245*	3,59060	,000	8,2948	25,3542
	2,00	17,8613*	3,59060	,000	9,3315	26,3910

Tabel 4.10 menjelaskan bahwa semua level massa penambahan silika mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level massa penambahan silika (level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%) mempunyai efek terhadap nilai rejeksi TSS membran.

Hipotesis untuk Waktu

$H_0: \mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi TSS sama antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi TSS berbeda antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada analisis *Tukey* lebih kecil dari nilai α . **Tolak** H_0 memiliki pengertian bahwa nilai rejeksi TSS membran mempunyai efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100. Sedangkan Gagal tolak H_0 memiliki pengertian bahwa nilai rejeksi TSS membran tidak mempunyai efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100.. Keputusan Tolak H_0 terjadi apabila nilai signifikansi kurang dari nilai α . Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Analisis uji *Tukey* untuk Waktu (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

(I) waktu_tss	(J) waktu_tss	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	3,5025	4,63545	,943	-9,3522	16,3572
	3,00	-6,9679	4,63545	,563	-19,8226	5,8868
	4,00	-9,1242	4,63545	,288	-21,9789	3,7305
	5,00	-13,6500*	4,63545	,032	-26,5047	-,7953
2,00	1,00	-3,5025	4,63545	,943	-16,3572	9,3522
	3,00	-10,4704	4,63545	,166	-23,3251	2,3843
	4,00	-12,6267	4,63545	,057	-25,4814	,2280
	5,00	-17,1525*	4,63545	,003	-30,0072	-4,2978
3,00	1,00	6,9679	4,63545	,563	-5,8868	19,8226
	2,00	10,4704	4,63545	,166	-2,3843	23,3251
	4,00	-2,1563	4,63545	,990	-15,0110	10,6985
	5,00	-6,6821	4,63545	,602	-19,5368	6,1726
4,00	1,00	9,1242	4,63545	,288	-3,7305	21,9789
	2,00	12,6267	4,63545	,057	-,2280	25,4814
	3,00	2,1563	4,63545	,990	-10,6985	15,0110
	5,00	-4,5258	4,63545	,865	-17,3805	8,3289
5,00	1,00	13,6500*	4,63545	,032	,7953	26,5047
	2,00	17,1525*	4,63545	,003	4,2978	30,0072
	3,00	6,6821	4,63545	,602	-6,1726	19,5368
	4,00	4,5258	4,63545	,865	-8,3289	17,3805

Tabel 4.11 menjelaskan bahwa selain level waktu ke-60 menit, semua level waktu mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada level waktu (menit ke-20, ke-40, ke-80, dan menit ke-100) mempunyai efek terhadap nilai rejeksi TSS membran.

Pada Tabel 4.12 sampai 4.15 adalah analisis Anova untuk keempat faktor. Pada penelitian ditentukan bahwa massa penambahan silika paling baik ditentukan oleh membran yang mempunyai nilai rejeksi paling tinggi. Nilai rejeksi yang tinggi menunjukkan bahwa membran mempunyai kemampuan yang baik untuk digunakan sebagai proses filtrasi limbah. Berdasarkan Tabel 4.12 sampai 4.15 dijelaskan bahwa level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi TSS tertinggi yaitu terdapat pada konsentrasi air limbah 100%, membran dengan massa penambahan silika 3% dari massa zeolit, kecepatan *centrifuge* 200 rpm dan waktu operasi membran pada menit ke 100.

Tabel 4.12 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

Dependent Variable: tss

waktu_tss	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	55,963	3,278	49,468	62,458
2,00	52,460	3,278	45,965	58,956
3,00	62,931	3,278	56,436	69,426
4,00	65,087	3,278	58,592	71,582
5,00	69,613	3,278	63,118	76,108

Tabel 4.13 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

Dependent Variable: tss

massa_tss	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	55,948	2,539	50,917	60,979
2,00	54,912	2,539	49,880	59,943
3,00	72,773	2,539	67,742	77,804

Tabel 4.14 Pengaruh Kecepatan *Centrifuge* (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

Dependent Variable: tss

kecepatan_tss	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	61,854	2,073	57,746	65,962
2,00	60,568	2,073	56,460	64,676

Tabel 4.15 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi TSS)

Dependent Variable: tss

konsentrasi_tss	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	62,444	2,073	58,336	66,551
2,00	59,978	2,073	55,870	64,086

4.7.2 Pengaruh Terhadap Nilai Rejeksi COD

Pada analisis Anova terlebih dahulu ditentukan hipotesis untuk setiap variasi. Tingkat kesalahan (α) ditentukan sebesar 5%. Bentuk hipotesis rancangan Faktorial yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

Hipotesis 1 (Efek massa penambahan silika terhadap nilai rejeksi COD)

H₀: efek dari massa penambahan silika pada penambahan 0,5 % massa zeolit = penambahan 1,5 % massa zeolit = penambahan 3 % massa zeolit (massa penambahan silika tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD).

H₁: paling tidak ada satu efek massa penambahan silika yang berbeda (massa penambahan silika signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD).

Hipotesis 2 (Efek kecepatan *centrifuge* terhadap nilai rejeksi COD)

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD).

Hipotesis 3 (Efek konsentrasi limbah cair terhadap nilai rejeksi COD)

H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75%
(konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD)

H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh
(konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD).

Hipotesis 4 (Efek waktu terhadap nilai rejeksi COD)

H₀: efek dari waktu pada menit ke-20 = ke-40 = ke-60 = ke-80 = ke-100
(waktu tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD).

H₁: paling tidak ada satu efek waktu yang berbeda (waktu signifikan
berpengaruh terhadap nilai rejeksi COD)

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh statistik uji pada Tabel 4.16. Berdasarkan Tabel 4.16 diperoleh hasil bahwa seluruh nilai signifikansi untuk massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge*, konsentrasi limbah cair, dan waktu berpengaruh terhadap nilai COD. Karena seluruh faktor berpengaruh, maka selanjutnya dilakukan analisis *Tukey* untuk melihat perbedaannya.

Tabel 4.16 Anova faktorial 4 faktor (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	22855,318 ^a	8	2856,915	12,462	,000
Intercept	152341,053	1	152341,053	664,523	,000
Waktu	11293,657	4	2823,414	12,316	,000
Massa	5911,824	2	2955,912	12,894	,000
Kecepatan	4078,901	1	4078,901	17,792	,000
Konsentrasi	1570,936	1	1570,936	6,853	,010
Error	25446,618	111	229,249		
Total	200642,989	120			
Corrected Total	48301,936	119			

Analisis *Tukey* digunakan untuk mengetahui perbedaan level di masing-masing faktor, sehingga dapat diketahui level mana yang memberi efek berbeda terhadap nilai COD. Analisis *tukey* selengkapnya dijelaskan sebagai berikut. Pada analisis *Tukey* juga digunakan rancangan hipotesis H_0 dan H_1 . Bentuk rancangan hipotesis yang digunakan dalam analisis yaitu sebagai berikut.

Hipotesis untuk Massa Penambahan Silika

H_0 : $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai COD sama antara level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai COD berbeda antara 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Analisis uji *Tukey* untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

(I) massa_cod	(J) massa_cod	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-8,3535*	3,38562	,040	-16,3963	-,3107
	3,00	-17,1905*	3,38562	,000	-25,2333	-9,1477
2,00	1,00	8,3535*	3,38562	,040	,3107	16,3963
	3,00	-8,8370*	3,38562	,028	-16,8798	-,7942
3,00	1,00	17,1905*	3,38562	,000	9,1477	25,2333
	2,00	8,8370*	3,38562	,028	,7942	16,8798

Tabel 4.17 menjelaskan bahwa semua level massa penambahan silika mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level massa penambahan silika (level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%) mempunyai efek terhadap nilai COD membran.

Hipotesis untuk kecepatan centrifuge

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm
(kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap Nilai COD)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh
(kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap Nilai COD).

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor kecepatan *centrifuge* tidak muncul karena kecepatan *centrifuge* hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H₀ pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 200 rpm dan 600 rpm berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi kecepatan *centrifuge* level 200 rpm dan 600 rpm signifikan berbeda berpengaruh terhadap nilai COD.

Hipotesis untuk konsentrasi limbah cair

H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75%
(konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap Nilai COD)

H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh
(konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap Nilai COD).

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor konsentrasi limbah cair tidak muncul karena konsentrasi limbah cair hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H₀ pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 100% dan level 75% berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi konsentrasi limbah cair level 100% dan level 75% signifikan berbeda berpengaruh terhadap nilai COD.

Hipotesis untuk Waktu

H₀: $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai COD sama antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai COD berbeda antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada analisis *Tukey* lebih kecil dari nilai α . **Tolak** H_0 memiliki pengertian bahwa nilai COD membran mempunyai efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100. Sedangkan Gagal tolak H_0 memiliki pengertian bahwa nilai COD membran tidak mempunyai efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100.. Keputusan Tolak H_0 terjadi apabila nilai signifikansi kurang dari nilai α . Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18 Analisis Uji *Tukey* Untuk Waktu (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

(I) waktu_cod	(J) waktu_cod	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-2,1954	4,37082	,987	-14,3163	9,9254
	3,00	-9,2154	4,37082	,224	-21,3363	2,9054
	4,00	-18,5358*	4,37082	,000	-30,6567	-6,4150
	5,00	-25,5646*	4,37082	,000	-37,6854	-13,4437
2,00	1,00	2,1954	4,37082	,987	-9,9254	14,3163
	3,00	-7,0200	4,37082	,497	-19,1408	5,1008
	4,00	-16,3404*	4,37082	,003	-28,4613	-4,2196
	5,00	-23,3692*	4,37082	,000	-35,4900	-11,2483
3,00	1,00	9,2154	4,37082	,224	-2,9054	21,3363
	2,00	7,0200	4,37082	,497	-5,1008	19,1408
	4,00	-9,3204	4,37082	,214	-21,4413	2,8004
	5,00	-16,3492*	4,37082	,003	-28,4700	-4,2283
4,00	1,00	18,5358*	4,37082	,000	6,4150	30,6567
	2,00	16,3404*	4,37082	,003	4,2196	28,4613
	3,00	9,3204	4,37082	,214	-2,8004	21,4413
	5,00	-7,0288	4,37082	,495	-19,1496	5,0921
5,00	1,00	25,5646*	4,37082	,000	13,4437	37,6854
	2,00	23,3692*	4,37082	,000	11,2483	35,4900
	3,00	16,3492*	4,37082	,003	4,2283	28,4700
	4,00	7,0288	4,37082	,495	-5,0921	19,1496

Tabel 4.18 menjelaskan bahwa semua level waktu mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level waktu (menit ke-20, ke-40, ke-60, ke-80, dan menit ke-100) mempunyai efek terhadap nilai COD membran.

Tabel 19 sampai 22 adalah analisis Anova untuk keempat faktor diberikan sebagai berikut. Pada penelitian ditentukan bahwa massa paling baik ditentukan oleh membran yang mempunyai nilai rejeksi paling tinggi. Nilai rejeksi yang tinggi menunjukkan bahwa membran mempunyai kemampuan yang baik untuk digunakan sebagai proses filtrasi limbah. Berdasarkan tabel berikut dijelaskan bahwa level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi COD tertinggi yaitu terdapat pada konsentrasi air limbah 75%, membran dengan massa silika 3% dari massa zeolit, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan waktu operasi membran pada menit ke 100.

Tabel 4.19 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

Dependent Variable: cod

waktu_cod	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	24,528	3,091	18,404	30,652
2,00	26,723	3,091	20,599	32,848
3,00	33,743	3,091	27,619	39,868
4,00	43,064	3,091	36,939	49,188
5,00	50,093	3,091	43,968	56,217

Tabel 4.20 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

Dependent Variable: cod

massa_cod	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	27,116	2,394	22,372	31,859
2,00	35,469	2,394	30,725	40,213
3,00	44,306	2,394	39,562	49,050

Tabel 4.21 Pengaruh Kecepatan *Centrifuge* (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

Dependent Variable: cod

kecepatan_cod	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	29,800	1,955	25,927	33,673
2,00	41,460	1,955	37,587	45,334

Tabel 4.22 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi COD)

Dependent Variable: cod

konsentrasi_cod	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	32,012	1,955	28,139	35,885
2,00	39,248	1,955	35,375	43,122

4.7.3 Pengaruh Terhadap Nilai Rejeksi Warna

Pada analisis Anova terlebih dahulu ditentukan hipotesis untuk setiap variasi. Tingkat kesalahan (α) ditentukan sebesar 5%. Bentuk hipotesis rancangan Faktorial yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

Hipotesis 1 (Efek massa penambahan silika terhadap nilai rejeksi Warna)

H₀: efek dari massa penambahan silika pada penambahan 0,5 % massa zeolit = penambahan 1,5 % massa zeolit = penambahan 3 % massa zeolit (massa penambahan silika tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

H₁: paling tidak ada satu efek massa penambahan silika yang berbeda (massa penambahan silika signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

Hipotesis 2 (Efek kecepatan centrifuge terhadap nilai rejeksi warna)

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

Hipotesis 3 (Efek konsentrasi limbah cair terhadap nilai rejeksi warna)

H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75% (konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna)

H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh (konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

Hipotesis 4 (Efek waktu terhadap nilai rejeksi warna)

H₀: efek dari waktu pada menit ke-20 = ke-40 = ke-60 = ke-80 = ke-100 (waktu tidak berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

H₁: paling tidak ada satu efek waktu yang berbeda (waktu signifikan berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna).

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh statistik uji pada Tabel 4.23. Berdasarkan Tabel 4.23 diperoleh hasil bahwa nilai signifikansi untuk massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge*, dan konsentrasi limbah cair berpengaruh terhadap nilai rejeksi warna. Karena seluruh faktor waktu tidak berpengaruh, maka selanjutnya dilakukan analisis *Tukey* untuk melihat perbedaan hanya dilakukan pada faktor massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge*, dan konsentrasi limbah cair.

Tabel 4.23 Anova Faktorial 4 Faktor (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18841,310 ^a	8	2355,164	21,296	,000
Intercept	456707,110	1	456707,110	4129,736	,000
Waktu	641,095	4	160,274	1,449	,223
Massa	3082,769	2	1541,384	13,938	,000
Kecepatan	7562,533	1	7562,533	68,384	,000
Konsentrasi	7554,914	1	7554,914	68,315	,000
Error	12275,480	111	110,590		
Total	487823,900	120			
Corrected Total	31116,790	119			

Analisis *Tukey* digunakan untuk mengetahui perbedaan level di masing-masing faktor, sehingga dapat diketahui level mana yang memberi efek berbeda terhadap nilai rejeksi warna. Analisis *tukey* selengkapnya dijelaskan sebagai berikut. Pada analisis *Tukey* juga digunakan rancangan hipotesis H_0 dan H_1 . Bentuk rancangan hipotesis yang digunakan dalam analisis yaitu sebagai berikut.

Hipotesis untuk Massa Penambahan Silika

H_0 : $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi warna sama antara level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai rejeksi warna berbeda antara 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.22.

Tabel 4.24 Analisis uji *Tukey* untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

(I) massa_warna	(J) massa_warna	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-7,6460*	2,35149	,004	-13,2321	-2,0599
	3,00	-12,2940*	2,35149	,000	-17,8801	-6,7079
2,00	1,00	7,6460*	2,35149	,004	2,0599	13,2321
	3,00	-4,6480	2,35149	,123	-10,2341	,9381
3,00	1,00	12,2940*	2,35149	,000	6,7079	17,8801
	2,00	4,6480	2,35149	,123	-,9381	10,2341

Tabel 4.24 menjelaskan bahwa semua level massa penambahan silika mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level massa penambahan silika (level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%) mempunyai efek terhadap nilai rejeksi warna membran.

Hipotesis untuk kecepatan centrifuge

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap warna membran)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap warna membran).

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor kecepatan *centrifuge* tidak muncul karena kecepatan *centrifuge* hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H₀ pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 200 rpm dan 600 rpm berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi kecepatan *centrifuge* level 200 rpm dan 600 rpm signifikan berbeda berpengaruh terhadap warna membran.

Hipotesis untuk konsentrasi limbah cair

H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75% (konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap warna membran)

H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh (konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap warna membran).

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor konsentrasi limbah cair tidak muncul karena konsentrasi limbah cair hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H₀ pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 100% dan level 75% berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi konsentrasi limbah cair level 100% dan level 75% signifikan berbeda berpengaruh terhadap warna membran.

Tabel 4.25 – 4.28 adalah analisis Anova untuk keempat faktor diberikan sebagai berikut. Pada penelitian ditentukan bahwa massa paling baik ditentukan oleh membran yang mempunyai nilai rejeksi paling tinggi. Nilai

rejeksi yang tinggi menunjukkan bahwa membran mempunyai kemampuan yang baik untuk digunakan sebagai proses filtrasi limbah. Berdasarkan tabel berikut dijelaskan bahwa level faktor yang menghasilkan nilai rejeksi warna tertinggi yaitu terdapat pada konsentrasi air limbah 100%, membran dengan massa silika 3% dari massa zeolit, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan waktu operasi membran pada menit ke-100.

Tabel 4.25 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

Dependent Variable: warna

waktu_warna	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	58,515	2,147	54,261	62,769
2,00	60,292	2,147	56,038	64,545
3,00	61,672	2,147	57,418	65,926
4,00	62,560	2,147	58,306	66,814
5,00	65,421	2,147	61,167	69,674

Tabel 4.26 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

Dependent Variable: warna

massa_warna	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	55,045	1,663	51,750	58,340
2,00	62,691	1,663	59,396	65,986
3,00	67,339	1,663	64,044	70,634

Tabel 4.27 Pengaruh Kecepatan *Centrifuge* (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

Dependent Variable: warna

kecepatan_warna a	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	53,753	1,358	51,063	56,444
2,00	69,631	1,358	66,940	72,321

Tabel 4.28 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Rejeksi Warna)

Dependent Variable: warna

konsentrasi_warna a	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	69,627	1,358	66,936	72,317
2,00	53,757	1,358	51,067	56,448

4.7.4 Pengaruh Terhadap Nilai Fluks

Pada analisis Anova terlebih dahulu ditentukan hipotesis untuk setiap variasi. Tingkat kesalahan (α) ditentukan sebesar 5%. Bentuk hipotesis rancangan Faktorial yang digunakan dalam analisis sebagai berikut.

Hipotesis 1 (Efek massa penambahan silika terhadap Nilai fluks)

H₀: efek dari massa penambahan silika pada penambahan 0,5 % massa zeolit = penambahan 1,5 % massa zeolit = penambahan 3 % massa zeolit (massa penambahan silika tidak berpengaruh terhadap Nilai fluks).

H₁: paling tidak ada satu efek massa penambahan silika yang berbeda (massa penambahan silika signifikan berpengaruh terhadap Nilai fluks).

Hipotesis 2 (Efek kecepatan *centrifuge* terhadap Nilai fluks)

H₀: efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap Nilai fluks)

H₁: paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap Nilai fluks).

Hipotesis 3 (Efek konsentrasi limbah cair terhadap Nilai fluks)

H₀: efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75% (konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap Nilai fluks)

H₁: paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh (konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap Nilai fluks).

Hipotesis 4 (Efek waktu terhadap Nilai fluks)

H₀: efek dari waktu pada menit ke-20 = ke-40 = ke-60 = ke-80 = ke-100 (waktu tidak berpengaruh terhadap Nilai fluks).

H₁: paling tidak ada satu efek waktu yang berbeda (waktu signifikan berpengaruh terhadap Nilai fluks)

Penolakan H₀ terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh statistik uji pada Tabel 4.29. Berdasarkan Tabel 4.29 diperoleh hasil bahwa seluruh nilai signifikansi untuk massa penambahan silika, kecepatan *centrifuge*, konsentrasi limbah cair, dan waktu berpengaruh terhadap nilai fluks. Karena seluruh faktor berpengaruh, maka selanjutnya dilakukan analisis *Tukey* untuk melihat perbedaannya.

Tabel 4.29 Anova faktorial 4 faktor (Terhadap Nilai Fluks)

Source	Type III Sum of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	12339,567 ^a	8	1542,446	41,819	,000
Intercept	91080,300	1	91080,300	2469,366	,000
Waktu	8627,783	4	2156,946	58,479	,000
Massa	1336,850	2	668,425	18,122	,000
Kecepatan	258,133	1	258,133	6,999	,009
Konsentrasi	2116,800	1	2116,800	57,391	,000
Error	4094,133	111	36,884		
Total	107514,000	120			
Corrected Total	16433,700	119			

Analisis *Tukey* digunakan untuk mengetahui perbedaan level di masing-masing faktor, sehingga dapat diketahui level mana yang memberi efek berbeda terhadap nilai fluks. Analisis *tukey* selengkapnya dijelaskan sebagai berikut. Pada analisis *Tukey* juga digunakan rancangan hipotesis H_0 dan H_1 . Bentuk rancangan hipotesis yang digunakan dalam analisis yaitu sebagai berikut.

Hipotesis untuk Massa Penambahan Silika

H_0 : $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai fluks sama antara level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai fluks berbeda antara 0,5%, level 1,5%, dan level 3%)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Data hasil statistik yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.30.

Tabel 4.30 Analisis uji *Tukey* untuk Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Fluks)

(I) massa_fluks	(J) massa_fluks	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	-3,2750*	1,35801	,046	-6,5010	-,0490
	3,00	4,8500*	1,35801	,002	1,6240	8,0760
2,00	1,00	3,2750*	1,35801	,046	,0490	6,5010
	3,00	8,1250*	1,35801	,000	4,8990	11,3510
3,00	1,00	-4,8500*	1,35801	,002	-8,0760	-1,6240
	2,00	-8,1250*	1,35801	,000	-11,3510	-4,8990

Tabel 4.30 menjelaskan bahwa semua level massa mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level massa (level 0,5%, level 1,5%, dan level 3%) mempunyai efek terhadap nilai fluks membran.

Hipotesis untuk kecepatan centrifuge

H_0 : efek dari kecepatan *centrifuge* pada level 200 rpm = level 600 rpm (kecepatan *centrifuge* tidak berpengaruh terhadap nilai fluks)

H_1 : paling tidak ada satu efek kecepatan *centrifuge* yang berpengaruh (kecepatan *centrifuge* signifikan berpengaruh terhadap nilai fluks).

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor kecepatan *centrifuge* tidak muncul karena kecepatan *centrifuge* hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H_0 pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 200 rpm dan 600 rpm berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi kecepatan *centrifuge* level 200 rpm dan 600 rpm signifikan berbeda berpengaruh terhadap nilai fluks.

Hipotesis untuk konsentrasi limbah cair

H_0 : efek dari konsentrasi limbah cair pada level 100% = level 75% (konsentrasi limbah cair tidak berpengaruh terhadap Nilai fluks)

H_1 : paling tidak ada satu efek konsentrasi limbah cair yang berpengaruh (konsentrasi limbah cair signifikan berpengaruh terhadap Nilai fluks).

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada tabel Anova lebih kecil dari nilai α . Pada analisis ini ditentukan nilai α adalah 0,05. Analisis *Tukey* untuk faktor konsentrasi limbah cair tidak muncul karena konsentrasi limbah cair hanya terdiri atas 2 level, dimana jika terjadi penolakan H_0 pada tabel analisis Anova, sudah dapat dipastikan bahwa level 100% dan level 75% berbeda. Dengan menggunakan tingkat kesalahan α sebesar 5% (0,05), diperoleh nilai signifikansi pada Anova sebesar 0,000 yang lebih kecil dari nilai α sebesar 5% (0,05). Artinya, variasi konsentrasi limbah cair level 100% dan level 75% signifikan berbeda berpengaruh terhadap nilai fluks.

Hipotesis untuk Waktu

H_0 : $\mu_i = \mu_j$ (rata-rata nilai fluks sama antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

H_1 : $\mu_i \neq \mu_j$ (rata-rata nilai fluks berbeda antara menit ke-20, menit ke-40, menit ke-60, menit ke-80, dan menit ke-100)

Penolakan H_0 terjadi jika nilai signifikansi pada analisis *Tukey* lebih kecil dari nilai α . Tolak H_0 memiliki pengertian bahwa nilai fluks membran mempunyai

efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, 40, 60, 80, dan 100. Sedangkan Gagal tolak H_0 memiliki pengertian bahwa nilai fluks membran tidak mempunyai efek terhadap waktu operasi membran pada menit ke-20, 40, 60, 80, dan 100. Keputusan Tolak H_0 terjadi apabila nilai signifikansi kurang dari nilai α . Data hasil statistik ditunjukkan pada Tabel 4.31..

Tabel 4.31 Analisis Uji *Tukey* Untuk Waktu (Terhadap Nilai Fluks)

(I) waktu_fluks	(J) waktu_fluks	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1,00	2,00	14,0417*	1,75319	,000	9,1798	18,9035
	3,00	18,0833*	1,75319	,000	13,2215	22,9452
	4,00	20,2500*	1,75319	,000	15,3882	25,1118
	5,00	24,8750*	1,75319	,000	20,0132	29,7368
2,00	1,00	-14,0417*	1,75319	,000	-18,9035	-9,1798
	3,00	4,0417	1,75319	,151	-,8202	8,9035
	4,00	6,2083*	1,75319	,005	1,3465	11,0702
	5,00	10,8333*	1,75319	,000	5,9715	15,6952
3,00	1,00	-18,0833*	1,75319	,000	-22,9452	-13,2215
	2,00	-4,0417	1,75319	,151	-8,9035	,8202
	4,00	2,1667	1,75319	,730	-2,6952	7,0285
	5,00	6,7917*	1,75319	,002	1,9298	11,6535
4,00	1,00	-20,2500*	1,75319	,000	-25,1118	-15,3882
	2,00	-6,2083*	1,75319	,005	-11,0702	-1,3465
	3,00	-2,1667	1,75319	,730	-7,0285	2,6952
	5,00	4,6250	1,75319	,070	-,2368	9,4868
5,00	1,00	-24,8750*	1,75319	,000	-29,7368	-20,0132
	2,00	-10,8333*	1,75319	,000	-15,6952	-5,9715
	3,00	-6,7917*	1,75319	,002	-11,6535	-1,9298
	4,00	-4,6250	1,75319	,070	-9,4868	,2368

Tabel 4.31 menjelaskan bahwa semua level waktu mempunyai nilai yang kurang dari nilai α . Hal ini menandakan bahwa pada semua level waktu (menit ke-20, ke-40, ke-60, ke-80, dan menit ke-100) mempunyai efek terhadap nilai fluks membran. Tabel 4.32 sampai 4.35 adalah analisis Anova untuk keempat faktor diberikan sebagai berikut. Nilai fluks yang tinggi menunjukkan bahwa membran mempunyai kemampuan yang baik untuk digunakan sebagai proses filtrasi limbah. Berdasarkan tabel berikut dijelaskan bahwa level faktor yang menghasilkan nilai fluks tertinggi yaitu terdapat pada konsentrasi air limbah 75%, membran dengan massa silika 1,5% dari massa zeolit, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan waktu operasi membran pada menit ke-20.

Tabel 4.32 Pengaruh Waktu Pengujian Membran (Terhadap Nilai Fluks)

Dependent Variable: fluks

waktu_fluks	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	43,000	1,240	40,543	45,457
2,00	28,958	1,240	26,502	31,415
3,00	24,917	1,240	22,460	27,373
4,00	22,750	1,240	20,293	25,207
5,00	18,125	1,240	15,668	20,582

Tabel 4.33 Pengaruh Massa Penambahan Silika (Terhadap Nilai Fluks)

Dependent Variable: fluks

massa_fluks	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	28,075	,960	26,172	29,978
2,00	31,350	,960	29,447	33,253
3,00	23,225	,960	21,322	25,128

Tabel 4.34 Pengaruh Kecepatan *Centrifuge* (Terhadap Nilai Fluks)

Dependent Variable: fluks

kecepatan_fluks	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	26,083	,784	24,530	27,637
2,00	29,017	,784	27,463	30,570

Tabel 4.35 Pengaruh Konsentrasi Limbah (Terhadap Nilai Fluks)

Dependent Variable: fluks

konsentrasi_fluks	Mean	Std. Error	95% Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
1,00	23,350	,784	21,796	24,904
2,00	31,750	,784	30,196	33,304

4.8 Pengaruh Penambahan Silika, Kecepatan *Centrifuge* dan Konsentrasi Limbah

Penambahan silika pada membran merupakan salah satu cara untuk meningkatkan rasio Si/Al pada zeolit (Thuadaj dan Nuntiya, 2012). Peningkatan ratio Si/Al membuat zeolit lebih hidrofobik. Hal ini menyebabkan daya adsorpsi permukaan membran terhadap air menurun (Malekpour dkk, 2011). Penurunan daya serap terhadap air membuat zeolit memiliki ruang kosong yang lebih banyak. Banyaknya jumlah ruang kosong pada kristal zeolit inilah yang membuat daya saring zeolit menjadi lebih besar (Rakhmatullah, 2007). Penambahan silika pada pembuatan membran memiliki pengaruh yang signifikan. Hasil uji statistik menunjukkan bahwa massa penambahan silika memiliki nilai signifikansi terhadap nilai rejeksi TSS, COD dan warna. Analisis lanjut menggunakan Uji *tukey* menunjukkan bahwa semua level, baik itu massa penambahan 0,5, 1,5 maupun 3% memberikan efek terhadap nilai rejeksi membran. Berdasarkan

analisa rejeksi TSS, COD dan warna diperoleh nilai rejeksi membran paling baik didapatkan dari membran dengan massa penambahan silika sebesar 3% dari massa zeolit. Kesimpulan ini diperkuat dengan hasil uji statistik yang menyatakan bahwa membran dengan massa penambahan silika 3% merupakan membran yang memiliki nilai rejeksi TSS, COD dan warna yang paling besar. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin besar silika yang ditambahkan maka semakin besar nilai rejeksi membran. Besarnya nilai rejeksi membran dengan massa penambahan silika 3% terjadi karena material membran memiliki rasio Si/Al yang lebih tinggi.

Kecepatan *centrifuge* terhadap kinerja membran memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai rejeksi dan fluks membran. Pengaruh yang signifikan ini dapat dilihat dari uji statistik yang telah dilakukan. Berdasarkan penelitian Citra dan Damayanti (2012), kecepatan *centrifuge* 600 rpm merupakan kecepatan yang lebih baik pada pembuatan membran. Hal ini dikarenakan zeolit dan silika akan tercampur sempurna dengan kecepatan *centrifuge* lebih tinggi ketika di *centrifuge* menggunakan pelarut 2-propanol. 2-propanol dapat mencuci campuran zeolit dan silika sehingga kotoran akan terlarut dan didapatkan endapan zeolit dan silika yang lebih murni. Semakin besar kecepatan *centrifuge*, membuat zat-zat pengotor dapat dipisahkan dari endapan. Berdasarkan analisis grafik yang dihasilkan, pembuatan membran dengan kecepatan *centrifuge* 600 rpm memiliki nilai rejeksi TSS, COD, warna dan nilai fluks lebih tinggi dari pada membran dengan kecepatan *centrifuge* 200 rpm. Hasil ini diperkuat dengan kesimpulan uji statistik. Pada uji statistik, kecepatan *centrifuge* memiliki nilai signifikansi rejeksi COD, warna dan nilai fluks. Hasil *tukey* pengaruh terhadap nilai rejeksi COD, warna dan nilai fluks menunjukkan bahwa kecepatan *centrifuge* 600 rpm adalah kecepatan yang menghasilkan nilai rejeksi terbesar dan penurunan nilai fluks terkecil.

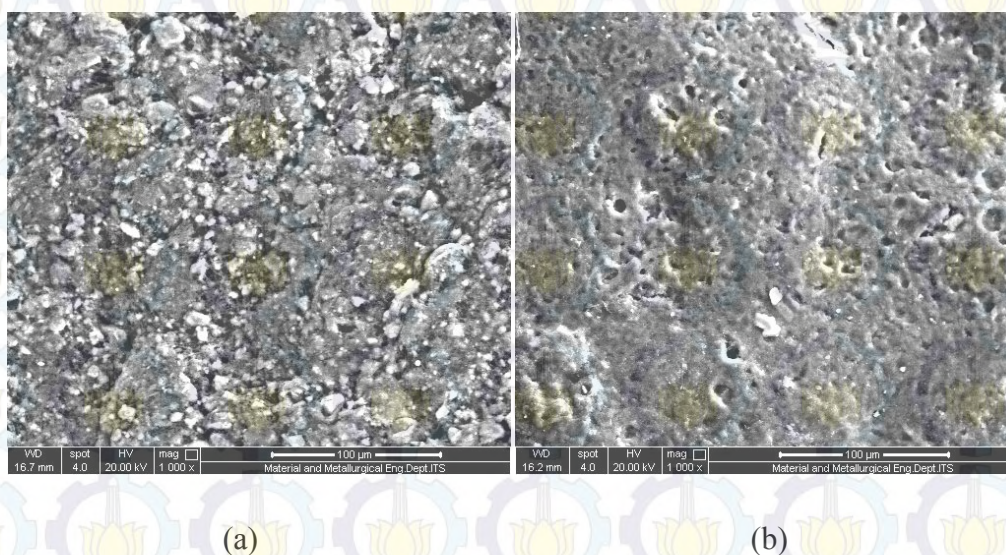
Pengaruh konsentrasi nilai rejeksi dan fluks membran memberikan nilai signifikansi hanya pada pengujian secara statistik terhadap nilai rejeksi COD, warna dan nilai fluks. Untuk pengaruh terhadap nilai rejeksi TSS, perbedaan konsentrasi tidak menghasilkan nilai signifikansi. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan konsentrasi limbah cair tidak memberikan efek pada nilai rejeksi TSS.

Konsentrasi limbah yang lebih baik terhadap nilai rejeksi COD dan warna pada pengujian membran adalah konsentrasi limbah cair 100%. Berbeda dengan nilai rejeksi, konsentrasi limbah yang lebih baik dimiliki oleh membran dengan pengujian pada konsentrasi limbah cair 75%. Selain memberikan nilai fluks paling besar, konsentrasi 75% juga memberikan penurunan nilai fluks paling kecil sehingga dapat memperlama waktu pakai membran.

4.9 Karakterisasi Membran

4.9.1 Analisis Morfologi dengan SEM

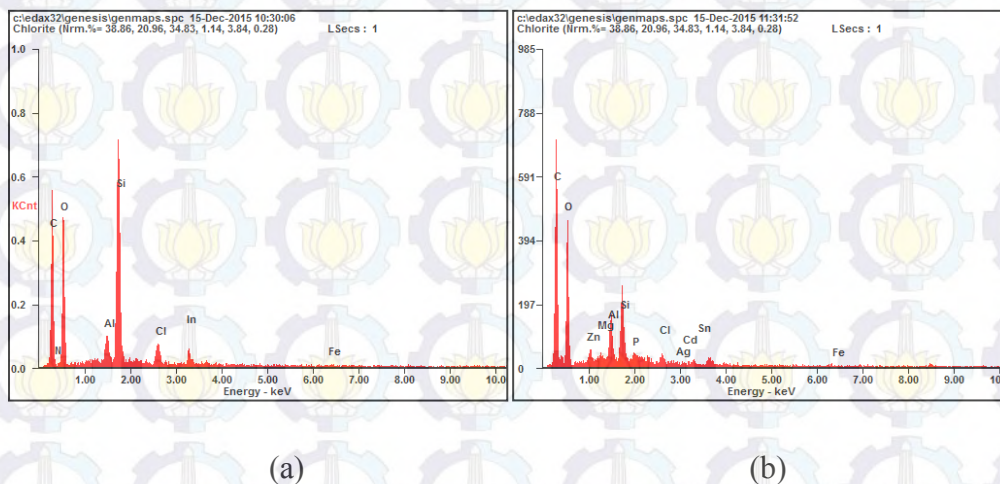
Hasil dari uji SEM yang telah dilakukan menunjukkan adanya penutupan pada pori-pori membran. Penutupan pada pori-pori membran diakibatkan menempelnya padatan tersuspensi dan zat warna yang ada pada limbah cair. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.12. Gambar 4.12 (a) merupakan perbesaran permukaan membran sebelum difiltrasi sedangkan Gambar 4.12 (b) menampilkan permukaan membran setelah digunakan sebagai media filtrasi limbah cair batik. Nilai perbesaran gambar adalah 1000 kali perbesaran. Perbandingan gambar menunjukkan mulai terjadinya *fouling* akibat menempelnya bahan organik dan anorganik dari limbah cair batik.



Gambar 4.12 Hasil SEM Morfologi Permukaan Membran (a) Sebelum Filtrasi dan (b) Setelah Filtrasi (Perbesaran 1000 kali)

4.9.2 Analisis Kandungan Unsur Pada Membran dengan EDX

Hasil analisis EDX menunjukkan adanya unsur-unsur yang tersaring oleh membran. Gambar 4.13 menunjukkan perbedaan kandungan unsur membran sebelum dan sesudah filtrasi. Gambar 4.13 (a) adalah hasil EDX dari membran sebelum filtrasi sedangkan Gambar 4.13 (b) merupakan hasil EDX dari membran setelah digunakan dalam proses filtrasi limbah cair batik. Perbandingan kandungan unsur menunjukkan adanya kandungan bahan organik dan logam berat dari zat warna yang tertahan pada membran. Gambar 4.13 (a) menunjukkan bahwa rasio Si/Al pada membran adalah berkisar 6,5. Rasio Si/Al ini lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 4. Setelah mengalami proses filtrasi, terdapat peningkatan unsur-unsur lain seperti nilai C, Ag, Cd, Sn, Fe, P, Zn, Mg, Al. Hal ini menunjukkan bahwa membran mampu menyaring unsur organik maupun logam berat yang terdapat pada limbah cair pewarnaan batik.

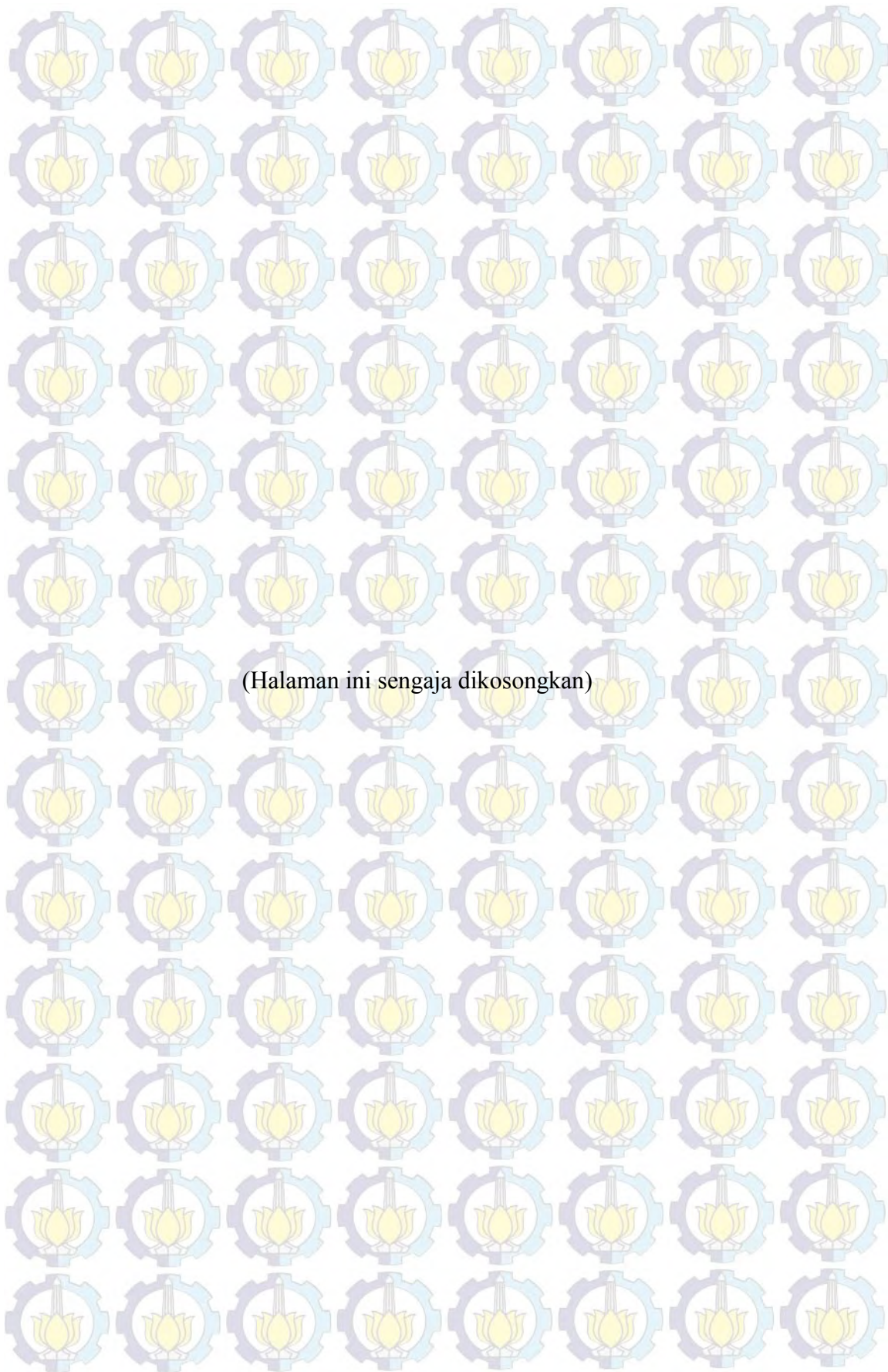


Gambar 4.13 Hasil EDX Kandungan Unsur Membran (a) Sebelum Filtrasi dan (b) Setelah Filtrasi

4.9.3 Uji Tarik Membran

Hasil uji tarik dengan autograph didapatkan nilai besaran beban penarik dan perubahan panjang membran. Uji tarik dilakukan pada membran dengan massa penambahan silika sebesar 3% dari massa zeolit dan kecepatan centrifuge 600 RPM. Dari data tersebut kemudian dihitung nilai tegangan, regangan dan modulus elastis young membran. Nilai inilah yang merepresentasikan kekuatan

mekanis pada membran. Nilai tegangan membran adalah $0,85 \text{ kgf/cm}^2$ sedangkan nilai regangan dan modulus elastis young membran adalah sebesar 0,59 dan $0,141 \text{ N/mm}^2$.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

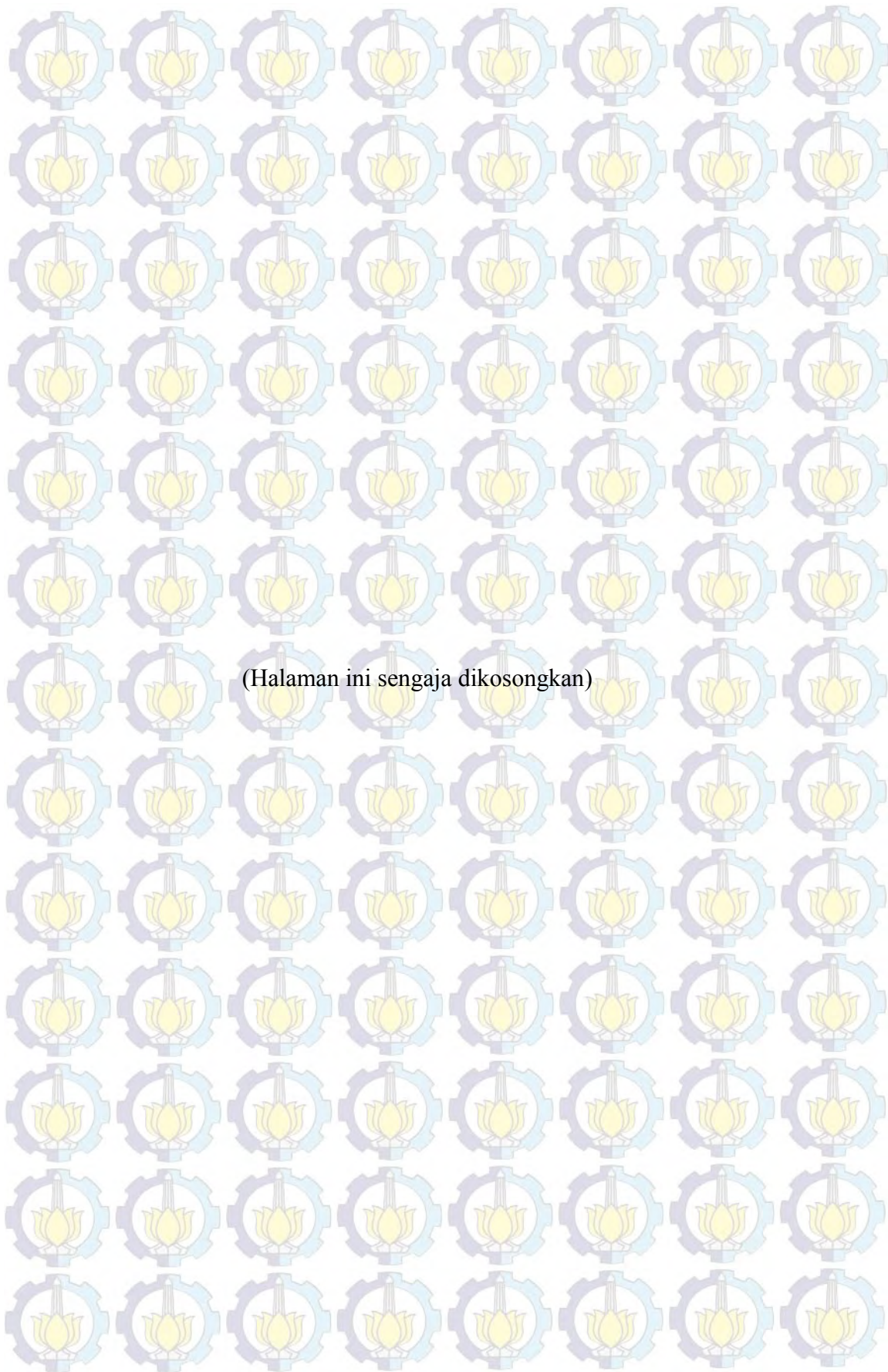
5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan. Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai rejeksi TSS, COD dan warna terbesar dimiliki oleh membran zeolit silika dengan penambahan silika 3% dari massa zeolit, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan pengujian pada konsentrasi limbah cair 100%. Nilai rejeksi TSS, COD dan warna pada membran tersebut pada menit ke 100 adalah sebesar 89,9; 72,86 dan 92,68%.
2. Penurunan nilai fluks terkecil diperoleh dari membran dengan massa penambahan silika 3%, kecepatan *centrifuge* 600 rpm dan konsentrasi limbah cair 75% yaitu sebesar 1–7%. Semakin kecil penurunan nilai fluks, semakin lama membran mengalami *fouling*.
3. Massa penambahan silika dan kecepatan *centrifuge* yang menghasilkan nilai rejeksi terbesar dan penurunan nilai fluks terkecil adalah membran dengan massa penambahan silika 3% dari massa zeolit dan kecepatan *centrifuge* 600 rpm.

5.2 Saran

1. Untuk mengoptimalkan kinerja membran filtrasi diperlukan *pre-treatment* sehingga nilai TSS dapat diperkecil. Kecilnya nilai TSS akan membuat membran memiliki masa pakai yang lebih lama.
2. Pengaruh penambahan PEG terhadap *fouling* yang terjadi pada membran perlu untuk dilakukan pengkajian lanjutan.



DAFTAR PUSTAKA

- Ahkam. (2011), Sintesis dan Karakterisasi Membran Nanozeolit Y untuk Aplikasi Pemisahan Gas Metanol-etanol. Program Studi Ekstensi Kimia, Universitas Indonesia, Depok
- Alonso, F.T., Rubio, A.M., Alvarez, R., Ortuno, J.A. (2013), Dynamic potential response and SEM-EDX studies of polymeric inclusion membranes based on ionic liquid, *International journal of electrochemical science*, 8, 4955-4969.
- Ashaghi K. S., Ebrahimi M. and Czermak P. (2007) Ceramic Ultra- and Nanofiltration Membranes for Oilfield Produced Water Treatment: A Mini Review. *The Open Environmental Journal*. 1: 1-8.
- Babu, P. J. , Alla, R. K. , Alluri, V. R. , Datla, S. R. , & Konakanchi, A. (2015), Dental Ceramics: Part I – An Overview of Composition, Structure and Properties, *American Journal of Materials Engineering and Technology*, 3(1), 13-18.
- Dong, L., Yang, H., Liu, S., Wang, X dan F.Xie, Y. (2015), Fabrication and Antibiofouling Properties of Alumina and Zeolit Nanoparticle Embedded Ultrafiltration Membranes, *Desalination* 365: 70-78.
- Effendi, H., Sari, R. D., dan Hasibuan, S. (2015), Moringa oleifera as coagulant for batik effluent treatment, *15(April)*, 20–23.
- Fan, L., Luo, C., Sun, M., Qiu, H. Dan Li, X. (2013), Synthesis of magnetic- β -cyclodextrin–chitosan/graphene oxide as nanoadsorbent and its application in dye adsorption and removal, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 103, 601–607.
- Farha, I.F dan Kusumawati, N. (2012), Pengaruh PVA terhadap morfologi dan kinerja membran kitosan dalam pemisahan warna Rhodamin-B, Prosiding Seminar Nasional Kimia Unesa.
- Feng, C., Khulbe, K. C., Matsuura, T., Farnood, R., dan Ismail, A. F. (2015), Recent Progress in Zeolit / Zeotype Membranes, *1*, 49–72.

- Flanigel, E.M., Broach, R.W. dan Wilson, S.T. (2010), *Zeolite in Industrial Separation and Catalysis: Introduction*, Eds. Kulprathipanja, S., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
- Hadiwidodo, M., Huboyo, H.S dan Indrasarimmawati. (2009), *Penurunan Warna, COD dan TSS Limbah Cair Industri Tekstil Menggunakan Teknologi Dielectric Barrier Discharge dengan Variasi Tegangan dan Flow Rate Oksigen*, Program Studi Teknik Lingkungan FT UNDIP.
- Im, M. (2011), *Pembuatan Dan Karakterisasi Komposit Membran Peek Silika/Clay Untuk Aplikasi Direct Methanol Fuel Cell (Dmfc)*, Program Pascasarjana Tekni Kimia, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Khalik, W.F., Ho, L., Ong, S., Wong, Y., Yusoff, N.A. dan Ridwan, F. (2015), *Decolorization and Mineralization of Batik Wastewater through Solar Photocatalytic Proces*, *Sains Malaysiana* 44(4), 607–612.
- Kogel, J.E., Trivedi, N.C., Barker, J.M. and Krukowski, S.T. (2006), *Industrial Minerals & Rocks, Commodities, Markets and Uses*. 7th Edition Book, Society for Mining, Metallurgy and Exploration, (SME).
- Lestari, D. Y., (2010), *Kajian Modifikasi dan Karakterisasi Zeolit Alam dari Berbagai Negara*, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta.
- Liu, Y., Zhang, S., Zhou, Z., Ren, J., Geng, Z., Luan, J dan Wang, G. (2012), *Novel Sulfonated Thin-Film Composite Nanofiltration Membrane with Improve Water Flux for Treatment Dye Solution*, *Journal of Membrane Science* 394-395.
- Malekpour, A., Samadi-maybodi, A., dan Sadati, M.T. (2011), *Desalination Of Aqueous Solutions by LTA And MFI Zeolite Membranes Using Pervaporation Method*. Brazilian, *Journal of Chemical Engineering*, (28), 999-677
- Mansor, S.M.B. (2010), *Batik wastewater treatment using membrane bioreactor (mbr)*.
- Metcalf dan Eddy (2003), *Waste Water Engineering: Treatment Disposal Reuse*, 4th Edition, Mc Graw-hill Publishing Company Ltd.
- Mulder, M. (1996), *Basic Principles of Membrane Technology*. Netherland: KluwerAcademic.

Muljadi. (2009), Efisiensi Instalasi Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Cetak dengan Metode Fisika-Kimia dan Biologi Terhadap Penurunan Parameter Pencemar (BOD, COD, dan Logam Berat KROM (Cr), Program Studi Ilmu Lingkungan Pasca Sarjana, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.

Nordin, N., Fathrita, S., Amir, M., & Othman, M. R. (2013), Textile Industries Wastewater Treatment by Electrochemical Oxidation Technique Using Metal Plate, 8, 11403–11415.

Nugroho, A.S dan Damayanti, A. (2014), Uji kinerja membran membran nanofiltrasi zeolit untuk menapis nitrat dan amonium air limbah produksi tahu, Jurusan Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Nurainun, O., dan Rasyimah, H. (2008), Analisis Industri Batik Di Indonesia ,7(3), 124–135.

O'Brien-Abraham, J dan Lin, J.Y.S. (2010), Zeolite in Industrial Separation and Catalysis: Zeolite Membrane Separation, eds. Kulprathipanja, S., WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Pramesari, T. (2013), Sintesis Membran Kitosan-Silika Abu Sekam Padi Untuk Dekolorisasi Zat Warna *Congo Red*, Jurusan Kimia Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Semarang, Semarang.

Puspayana, D.R dan Damayanti, A. (2013), Pengolahan limbah cair tahu menggunakan membran nanofiltrasi silika aliran *cross flow* untuk menurunkan kadar nitrat dan ammonium, *Jurnal Teknik POMITS* 2 (2).

Rakhmatullah, D.K.A., Wiradini, G. dan Ariyanto, N.P. (2007). Pembuatan Adsorben dari Zeolit Alam Dengan Karakteristik Adsorption Properties Untuk Kemurnian Bioetanol, *Buletin IPT*, 1, IV, 26-32.

Rashidi, H. R., Meriam, N., Sulaiman, N., Hashim, N. A., Rosmani, C., dan Hassan, C. (2013), Synthetic batik wastewater pretreatment progress by using physical treatment, 627, 394–398.

Saunders, M.M. (2015), Mechanical Testing for the Biomechanical Engineer: A Practical Guide, Morgan and Claupool Publisher, The University of Akron, Akron, Ohio.

- Setiawan, B., Rosyidin dan Nurmaniwathy. (2007), Reduksi Warna dan BOD Limbah Tekstil Menggunakan Karbon-TiO₂, ISSN 0216-3128.
- Suprihatin, H. (2014), Kandungan Organik Limbah Cair Industri Batik Jetis Sidoarjo Dan Alternatif Pengolahannya, *Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Pembangunan Surabaya, Surabaya*.
- Swenson, P. (2012), Natural Zeolite Membrane for Gas and Liquid Separation, Departement of Chemical and Material Engineering, University of Alberta, Alberta.
- Tavolaro, B. A., & Drioli, E. (1999), Zeolit Membranes, (12), 975–996.
- Thuadaj, P dan Nuntiya, A. (2012), Effect of the SiO₂/Al₂O₃ ratio on the synthesis of Na-xzeolite from Mae Moh fly ash, *ScienceAsia* 38 (2012): 295-300.
- Van, D.J.C., Verberk, J.Q.J.C., Heijman, S.G.J., Rietveld, L.C., de Ridder, D., Grefte, A. dan Andeweg, P., (2009), Drinking water treatment. Lectures of course CT4475 for TU Delft university.
- Wenten, I. G. (2003), Recent development in membrane science and its industrial applications, (May).
- Xu, R., Pang, W., Yu, J., Huo, Q. Dan Chen, J. (2007), Chemistry of Zeolite and Related Porous Materials, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, Singapore.
- Yulianto, A., Hakim, L., Purwaningsih, I. Dan Pravitasari, V.A. (2009), Pengolahan Limbah Cair Industri Batik Pada Skala Laboratorium Dengan Menggunakan Metode Elektrokoagulasi, Jurusan Teknik Lingkungan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta, Yogyakarta.
- Zeng, Z. (2012), Phosphorus removal by ceramic tight ultra-filtration (CTUF) membranes for RO pre-treatment, Sanitary Engineering Section, Department of Water Management, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Delft.
- Zhou, W., Apjarian, Lin, W dan Joy, D. (2007), Fundamentals of Scanning Electron Microscopy (SEM), *Springer*, New York.

LAMPIRAN 1

Prosedur pembuatan membran zeolit-silika

1. Tahap Preparasi Material Zeolit dan Silika

- a. Penggerusan zeolit dan silika diayak dengan ukuran 200 mesh
- b. Direndam dengan larutan HCl 15% selama 24 jam untuk menghilangkan zat pengotor, dicuci dengan aquadest kemudian di oven selama 24 jam sampai mengering.

2. Tahap pembuatan membran

2.1 Tahap Pembuatan Larutan Membran

- a. Menimbang zeolit dan silika dengan variasi penambahan massa silika (% masa zeolit) = 0,5 ; 1,5 ; 3.
- b. Dicampur dengan 35 mL 2-propanol dan dimasukkan dalam botol *centrifuge* dan *dicentrifuge* selama 15 menit dengan kecepatan 600 dan 200 rpm.
- c. Fasa cair dibuang, dan fasa padatan dituang ke dalam beaker glass 250 mL.
- d. Ditambahkan 3,5 gram NH_4Cl yang sudah dilarutkan dengan aquades 300 mL. Penambahan NH_4Cl berfungsi sebagai surfaktan kationik supaya terbentuk membran berukuran nano.
- e. Campuran diaduk menggunakan magnetic stirrer selama 1 jam. dan didiamkan hingga terdapat endapan.

2.2 Tahap Pencetakan Membran

- a. Endapan yang sudah dipisahkan dicampur dengan 20 mL PEG dan PVA sebanyak 50 mL setiap 15 gram zeolit. Setelah itu dipanaskan dengan kompor listrik dan direndam dalam air agar tidak hangus. Diaduk hingga tercampur sempurna dan mengental.
- b. Setelah larutan mengental, dituangkan kedalam cawan petri, dan didiamkan selama 30 jam hingga kering

Metode Standart Analisa Parameter Limbah Cair

1. Prosedur Total Suspended Solids (TSS)

Bahan dan alat:

1. Furnace dengan suhu 550°C
2. Oven dengan suhu 105°C
3. Cawan porselin 50 mL
4. Timbangan analitis
5. Desikator
6. Cawan petridis
7. Kertas saring
8. Vacum filter

Prosedur percobaan:

1. Memasukkan cawan kedalam furnace 550°C selama 1 jam, setelah itu memasukkan ke dalam oven 105°C selama 15 menit.
2. Memasukkan kertas saring dalam oven 105°C selama 1 jam.
3. Mendinginkan cawan dan kertas saring dalam desikator selama 15 menit.
4. Menimbang cawan dan kertas saring dengan timbangan analitis (e mg).
5. Meletakkan kertas saring yang telah ditimbang pada vacum filter.
6. Menuangkan sampel sebanyak 25 mL di atas filter yang telah dipasang pada vacum filter, volume sampel yang digunakan tergantung dari kepekatannya, mencatat volume sampel (g mL).
7. Menyaring sampel hingga kering atau airnya habis.
8. Meletakkan kertas saring pada cawan dan memasukkan ke oven selama 1 jam
9. Mendinginkan dalam desikator selama 15 menit.
10. Menimbang dengan timbangan analitis (f mg).
11. Hitung TSS dengan rumus berikut :

$$TSS \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(f - e)}{g} \times 1000 \times 1000$$

Dimana: e = cawan kosong setelah difurnace 550°C dan dioven 105°C

f = cawan dan residu setelah dioven 105°C

g = volume sampel

2. Prosedur Analisa Chemical Oxygen Demand (COD) Closed Reflux Titrimetric Method

Bahan dan alat :

1. Larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)
2. Kristal perak sulfat (Ag_2SO_4) dicampur dengan asam sulfat (H_2SO_4)
3. Kristal Merkuri Sulfat (Hg_2SO_4)
4. Larutan Standart Fero Amonium Sulfat (FAS) 0,05 N
5. Larutan Indikator Fenantroline Fero Sulfat (feroin)
6. Buret 50 ml Erlenmeyer COD
7. Alat refluks dan pemanasnya
8. Pipet 10 ml Beaker glass 10 ml

Prosedur percobaan:

1. Masukkan 0,4 gr kristal Hg_2SO_4 ke dalam masing-masing erlenmeyer COD
2. Tuangkan 20 ml air sampel dan 20 ml aquadest (sebagai blanko) ke dalam masing-masing erlenmeyer COD
3. Tambahkan 10 ml larutan Kalium Dikromat ($K_2Cr_2O_7$) 0,1 N
4. Tambahkan 30 ml larutan campuran H_2SO_4 dan Ag_2SO_4
5. Alirkan air pendingin pada kondensor dan pasang erlenmeyer COD
6. Nyalakan alat pemanas dan refluks larutan tersebut selama 2 jam
7. Biarkan erlenmeyer air dingin dan tambahkan aquadest melalui kondensor sampai volume 150 ml
8. Melepaskan erlenmeyer dari kondensor dan tunggu sampai dingin
9. Menambahkan 3-4 tetes indikator feroin
10. Mentitrasi kedua larutan di erlenmeyer tersebut dengan larutan standar fero Amonium Sulfat 0,05 N hingga berwarna merah coklat
11. Hitung COD sampel dengan rumus berikut

$$COD \left(\frac{mg}{L} O_2 \right) = \frac{(a - b) \times N \times 8000}{vol. sampel} \times F \times p$$

Dimana: a = mL FAS titrasi blanko F = faktor (20: titran blanko kedua)

b = mL FAS titrasi sampel p = pengenceran

N = normalitas larutan FAS

3. Uji Warna PtCo

Bahan:

1. Air suling
2. Larutan induk warna 500 PtCo
3. larutkan 1,246 g kalium kloro platina, K_2PtCl_6 yang ekuivalen dengan 500 mg logam platina dan 1,0 g kobal klorida, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ yang ekuivalen dengan 250 mg logam kobal
4. larutan baku dengan unit warna 10, 15, 25, 30, 40, 50 dan 100.

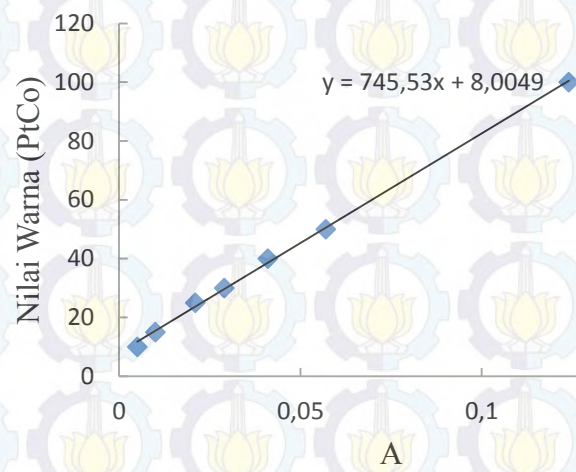
Memasukkan larutan baku unit warna pada spektrofotometer 390 nm dan membuat kurva kalibrasi.

Peralatan:

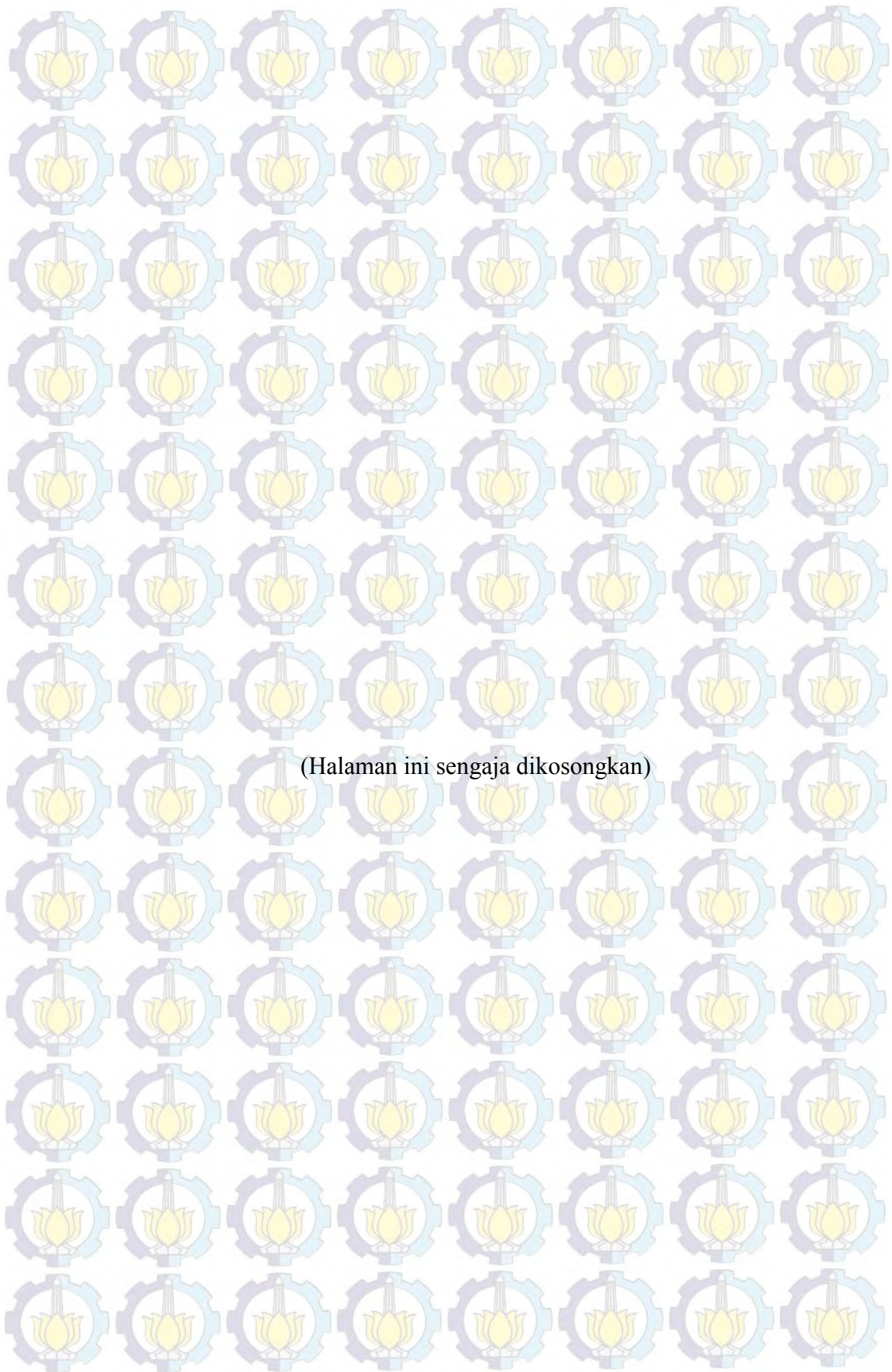
1. Neraca Analitik
2. Labu Ukur 100 mL
3. Gelas Ukur 100 mL
4. Spektrofotometer

Prosedur:

1. masukkan sampel pada kuvet
2. Baca nilai absorpsi dengan menggunakan spektrofotometer 390 nm
3. Masukkan nilai absorpsi sampel dengan menggunakan regresi kurva kalibrasi.



Gambar A-1.1 Kurva Kalibrasi PtCo



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 2

Cara Perhitungan Nilai Rejeksi

Perhitungan nilai rejeksi untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

$$R = (1 - \frac{C_p}{C_f}) \times 100\%$$

Dengan : R = nilai rejeksi (%)

C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate*

C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan

Contoh perhitungan :

Rejeksi TSS pada variasi persen massa zeolit 1,5% , 200 RPM dan konsentrasi air limbah 100% pada menit ke 80.

Nilai TSS *permeate* (C_p) = 50 mg/L

TSS umpan (C_f) = 270 mg/L

$$\begin{aligned}\text{Nilai rejeksi (R)} &= (1 - \frac{C_p}{C_f}) \times 100\% \\ &= (1 - \frac{50}{270}) \times 100\% \\ &= 37,29\%\end{aligned}$$

Cara Perhitungan Nilai Fluks

Perhitungan nilai fluks untuk tiap variasi membran menggunakan rumus :

$$J = \frac{V}{A \times t}$$

Dengan : J = nilai fluks (L/m².jam)

V = volume *permeate* (L)

A = luas permukaan membran (m²)

t = waktu (jam)

Contoh perhitungan :

Nilai fluks pada variasi persen massa zeolit 1,5% , 200 RPM dan konsentrasi air limbah 100% pada menit ke 20

Volume *permeate* = 8,5mL = 0,0085 L

Luas permukaan (A) = 3,14 x 0,002 m x 0,002 m = 0,01256 m²

Waktu (t) = 20 menit = 0,333 jam

$$J = \frac{v}{A \times t} = \frac{0,0085 \text{ L}}{0,01256 \text{ m}^2 \times 0,333 \text{ jam}} = 0,226 \text{ L/m}^2 \cdot \text{jam}$$

Cara Perhitungan Nilai Modulus Elastisitas Young (Kuat Tarik)

Perhitungan kuat tarik membran menggunakan rumus :

$$E = \frac{\tau}{e}$$

Dengan : τ = tegangan (N/m^2)

e = regangan

nilai tegangan dan regangan didapatkan dari rumus :

$$\tau = \frac{F}{A}$$

$$e = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Dengan : F = Gaya (N)

A = luas penampang

ΔL = pertambahan panjang

L_0 = panjang awal membran

Contoh perhitungan :

Nilai modulus elastisitas young membran zeolit - silika

Gaya tarik (F) = 5,1 kgf =

Luas penampang membran (A) = 1 x 6 cm = 6 cm²

Pertambahan panjang (ΔL) = 35,41 mm = 3,541 cm

Panjang awal membran (L_0) = 6 cm

$$\text{Tegangan } (\tau) = \frac{F}{A}$$

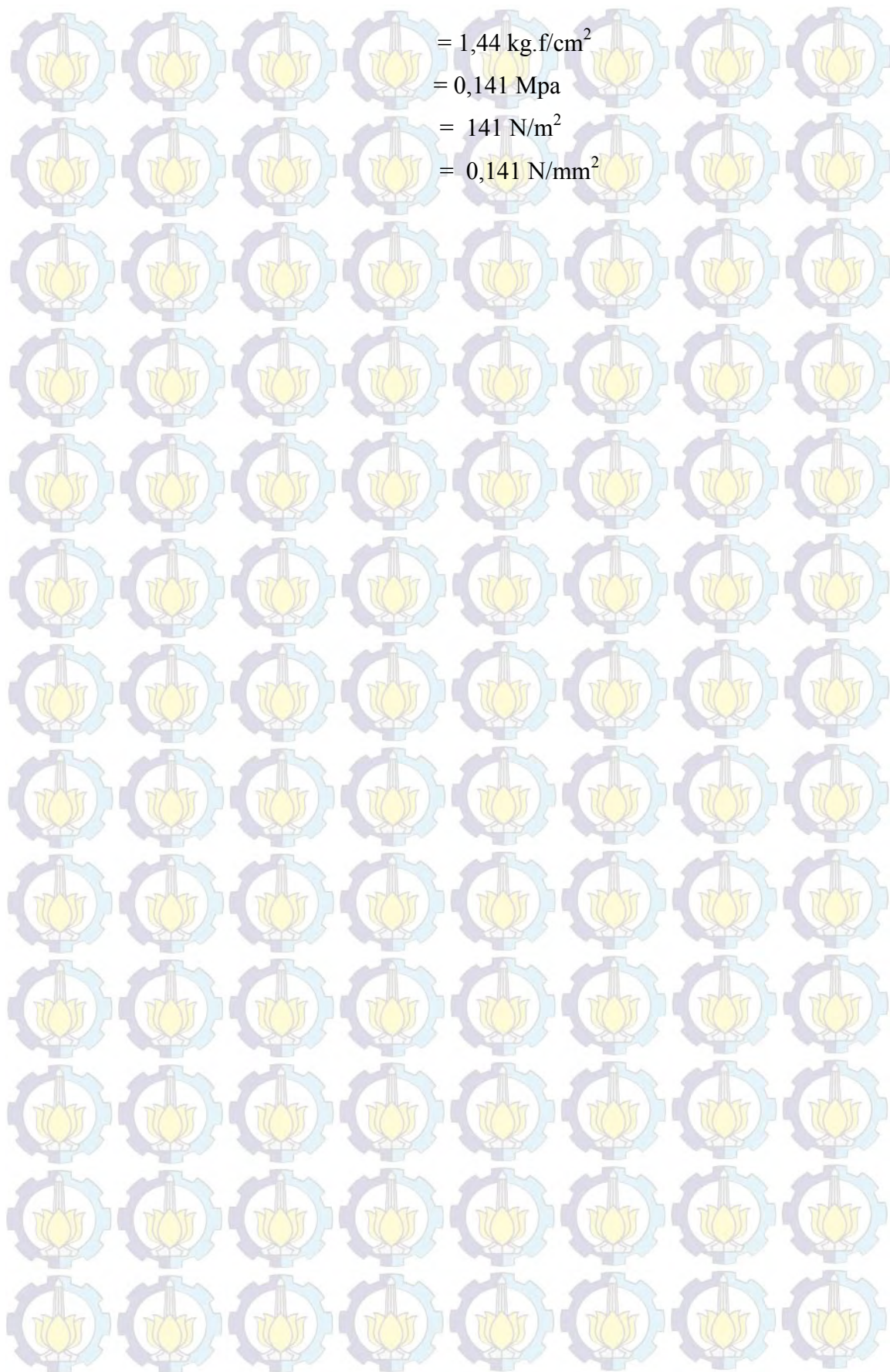
$$= \frac{5,1 \text{ kgf}}{6 \text{ cm}^2} = 0,85 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{Regangan } (e) = \frac{\Delta L}{L_0}$$

$$= \frac{3,516 \text{ cm}}{6 \text{ cm}} = 0,59$$

$$\text{Modulus Elastisitas Young } (E) = \frac{\tau}{e}$$

$$= \frac{0,85 \text{ kgf/cm}^2}{0,59}$$





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 3

Hasil Analisis TSS

Tabel A-3.1 Nilai TSS Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai TSS (mg/L)					
	0,5AX		1,5AX		3AX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	2100	2700	4000	1300	1740	2200
20	900	1600	2200	350	481	467
40	600	2600	2800	1000	880	369
60	800	700	1000	500	311	380
80	700	800	1800	600	486	489
100	1200	700	1300	500	367	667

Tabel A-3.2 Nilai TSS Membran 600 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai TSS (mg/L)					
	0,5BX		1,5BX		3BX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	2700	2200	3000	1300	2200	2700
20	1600	1400	2500	700	500	500
40	2600	1200	2400	600	600	600
60	700	1400	800	300	900	900
80	800	600	1800	250	600	600
100	700	500	700	350	200	300

Tabel A-3.3 Nilai TSS Membran 600 RPM dan 75%

Menit Ke	Nilai TSS (mg/L)					
	0,5AY		1,5AY		3AY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	964	964	982	982	964	964
20	562	362	362	305	317	333
40	629	333	276	314	317	400
60	438	486	305	333	367	200
80	333	463	295	429	200	450
100	503	378	476	276	167	483

Tabel A-3.4 Nilai TSS Membran 600 RPM dan 75%

Menit Ke	Nilai TSS (mg/L)					
	0,5BY		1,5BY		3BY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	964	964	964	964	964	964
20	240	340	643	800	164	264
40	440	760	724	520	164	436
60	240	520	506	860	382	264
80	438	560	518	300	164	227
100	264	320	333	224	200	300

Hasil Analisis COD

Tabel A-3.5 Nilai COD Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai COD (mg/L)					
	0,5AX		1,5AX		3AX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	5517	5376	4852	4561	5263	5263
20	5517	5376	4852	1955	3579	3158
40	5345	5202	4232	2389	3895	3158
60	4138	4855	4129	2281	3895	2947
80	3793	4682	3303	4148	3368	2947
100	3190	4162	3303	2824	3368	2947

Tabel A-3.6 Nilai COD Membran 600 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai COD (mg/L)					
	0,5BX		1,5BX		3BX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	4852	4156	3879	4249	6065	6065
20	4542	3636	3879	4092	3466	2599
40	4439	3636	3740	2675	2426	4159
60	4439	3325	3325	2361	2253	2253
80	4026	2701	2632	2203	1906	1906
100	3613	2494	1247	1180	1733	1560

Tabel A-3.7 Nilai COD Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai COD (mg/L)					
	0,5AY		1,5AY		3AY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	3275	4772	6082	6082	6124	6575
20	3088	3275	4023	4585	5493	4274
40	2901	4023	3275	3649	5944	5096
60	2901	4023	4023	3275	4773	5096
80	1591	2901	3649	4398	2792	3616
100	2152	1591	3275	3275	2792	3945

Tabel A-3.8 Nilai COD Membran 600 RPM dan 75%

Menit Ke	Nilai COD (mg/L)					
	0,5BY		1,5BY		3BY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	5184	5184	4765	4608	4765	5472
20	2880	3168	3353	4320	2647	3456
40	3168	3456	1941	2592	3353	4608
60	2160	2016	4588	2304	1588	3168
80	2304	2592	1235	2304	1941	2304
100	2304	2304	2647	2016	1235	1728

Hasil Analisis Warna

Tabel A-3.9 Nilai Warna Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Warna (PtCo)					
	0,5AX		1,5AX		3AX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	1770	1183	1534	2443	1890	1890
20	1556	773	438	378	443	503
40	1556	773	445	378	428	399
60	1173	736	468	378	443	443
80	810	698	453	371	428	473
100	885	624	453	296	414	354

Tabel A-3.10 Nilai Warna Membran 600 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Warna (PtCo)					
	0,5BX		1,5BX		3BX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	1905	1875	1929	1949	2664	2664
20	473	503	773	533	1546	1546
40	473	488	698	473	1471	1397
60	473	473	624	473	1322	1397
80	458	473	512	473	1248	1099
100	458	399	438	428	1024	1024

Tabel A-3.11 Nilai Warna Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Warna (PtCo)					
	0,5AY		1,5AY		3AY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	771	771	876	876	891	891
20	369	458	443	414	473	473
40	399	324	443	473	473	518
60	414	458	458	443	428	458
80	458	443	428	503	533	488
100	443	399	473	458	473	443

Tabel A-3.12 Nilai Warna Membran 600 RPM dan 75%

Menit Ke	Nilai Warna (PtCo)					
	0,5BY		1,5BY		3BY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
0	876	876	1025	1025	1025	1040
20	414	354	443	384	443	384
40	384	354	354	428	399	369
60	339	339	414	354	384	414
80	369	384	384	503	354	324
100	384	354	339	503	339	324

Nilai Fluks Membran

Tabel A-3.13 Nilai Fluks Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Fluks (L/m ² .jam)					
	0,5AX		1,5AX		3AX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
20	43	46	39	41	43	36
40	12	15	21	29	21	19
60	10	13	17	26	18	16
80	8	13	15	24	18	14
100	4	10	14	17	12	11

Tabel A-3.14 Nilai Fluks Membran 600 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Fluks (L/m ² .jam)					
	0,5BX		1,5BX		3BX	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
20	39	37	37	41	36	36
40	29	24	20	38	27	27
60	29	24	17	33	26	26
80	29	22	16	27	24	21
100	14	18	14	17	14	14

Tabel A-3.15 Nilai Fluks Membran 200 RPM dan 100%

Menit Ke	Nilai Fluks (L/m ² .jam)					
	0,5AY		1,5AY		3AY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
20	49	61	62	60	37	36
40	39	33	45	45	18	16
60	30	30	37	35	15	14
80	26	24	35	33	13	13
100	24	24	30	32	12	12

Tabel A-3.16 Nilai Fluks Membran 600 RPM dan 75%

Menit Ke	Nilai Fluks (L/m ² .jam)					
	0,5BY		1,5BY		3BY	
	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2	Run 1	Run 2
20	47	45	45	43	36	37
40	42	33	43	41	32	26
60	32	30	36	30	30	24
80	32	29	29	29	29	23
100	30	24	17	24	27	20

LAMPIRAN 4

Hasil Uji Normalitas

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
1	The categories of waktu_tss occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
2	The categories of massa_tss occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
3	The categories defined by kecepatan_tss = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
4	The categories defined by konsentrasi_tss = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
5	The categories of waktu_warna occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
6	The categories of massa_warna occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
7	The categories defined by kecepatan_warna = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
8	The categories defined by konsentrasi_warna = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
9	The categories of waktu_cod occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
10	The categories of massa_cod occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.

	Null Hypothesis	Test	Sig.	Decision
11	The categories defined by kecepatan_cod = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
12	The categories defined by konsentrasi_cod = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
13	The categories of waktu_fluks occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
14	The categories of massa_fluks occur with equal probabilities.	One-Sample Chi-Square Test	1,000	Retain the null hypothesis.
15	The categories defined by kecepatan_fluks = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
16	The categories defined by konsentrasi_fluks = 1,000 and 2,000 occur with probabilities 0,5 and 0,5.	One-Sample Binomial Test	1,000	Retain the null hypothesis.
17	The distribution of tss is normal with mean 61,211 and standard deviation 18,68.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	,011	Reject the null hypothesis.
18	The distribution of warna is normal with mean 61,692 and standard deviation 16,17.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	,193	Retain the null hypothesis.
19	The distribution of cod is normal with mean 35,630 and standard deviation 20,15.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	,437	Retain the null hypothesis.
20	The distribution of fluks is normal with mean 27,550 and standard deviation 11,75.	One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	,373	Retain the null hypothesis.

Asymptotic significances are displayed. The significance level is ,05.

LAMPIRAN 5

Tabel A-4.1 Hasil EDX Membran Sebelum Filtrasi

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	44.29	56.47
<i>NK</i>	00.39	00.42
<i>OK</i>	35.14	33.64
<i>AlK</i>	01.92	01.09
<i>SiK</i>	13.08	07.13
<i>ClK</i>	01.77	00.76
<i>InL</i>	03.17	00.42
<i>FeK</i>	00.25	00.07
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

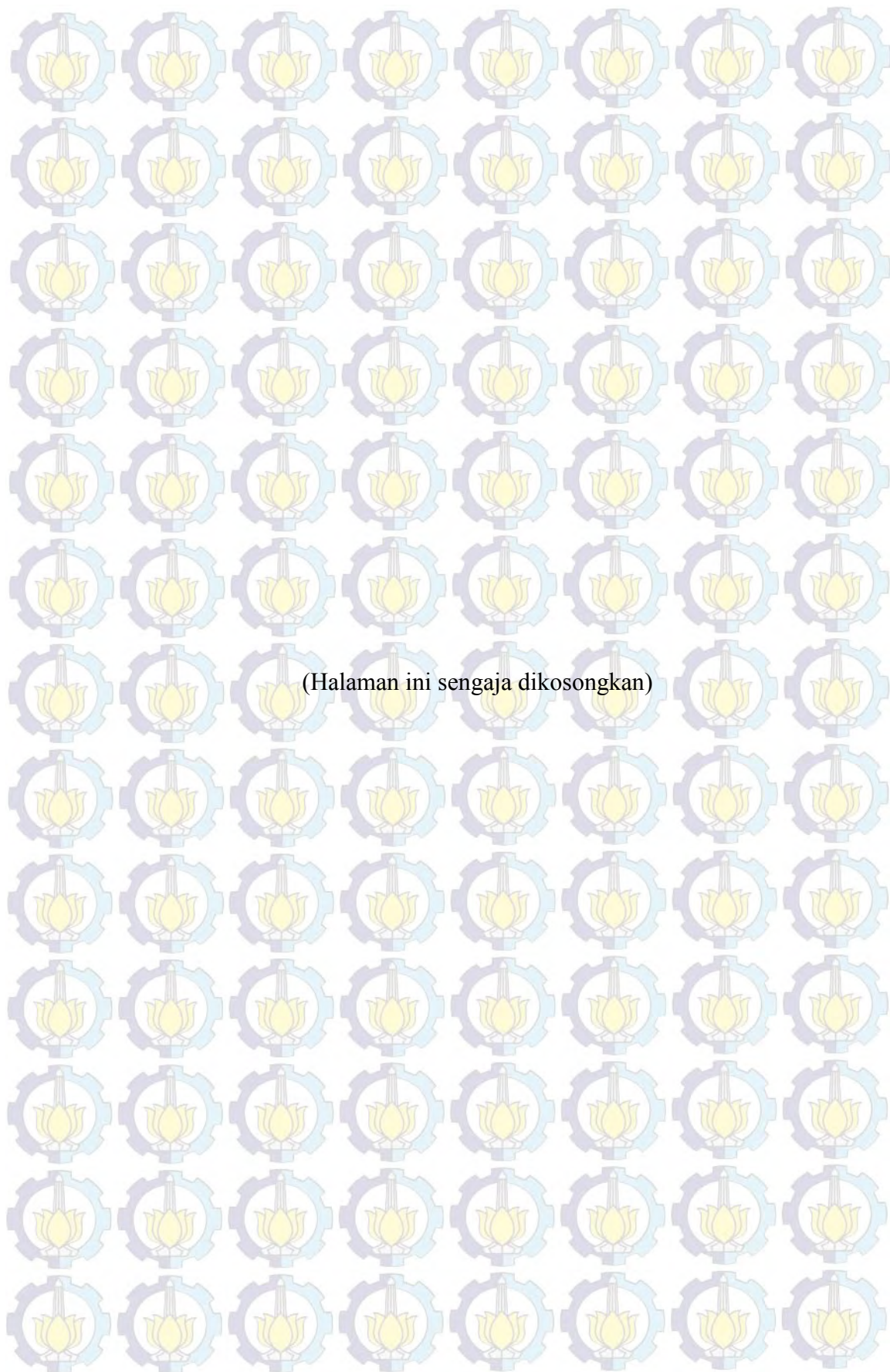
Tabel A-4.2 Hasil EDX Membran Setelah Filtrasi

<i>Element</i>	<i>Wt%</i>	<i>At%</i>
<i>CK</i>	51.11	62.13
<i>OK</i>	34.92	31.87
<i>ZnL</i>	02.20	00.49
<i>MgK</i>	00.43	00.26
<i>AlK</i>	03.35	01.81
<i>SiK</i>	04.59	02.39
<i>PK</i>	00.85	00.40
<i>ClK</i>	00.92	00.38
<i>AgL</i>	00.53	00.07
<i>CdL</i>	00.28	00.04
<i>SnL</i>	00.36	00.04
<i>FeK</i>	00.47	00.12
<i>Matrix</i>	Correction	ZAF

BIODATA PENULIS



Noven Pramitasari, penulis lahir di Tuban, 6 November 1992. Penulis merupakan anak terakhir dari pasangan Bapak Sarto dan Ibu Wardiyah. Alamat domisili asal penulis berada di Desa Karangagung, Kec. Palang, Kab. Tuban. Penulis telah menempuh pendidikan formal diantaranya SD MI Muhammadiyah I Karangagung, SMP Negeri I Palang, MA Negeri Tuban dan S1 Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember (2010-2014). Selama menempuh pendidikan S-1 di Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember aktif dalam organisasi Kajian Islam Nurul Ilmi sebagai koordinator putri Media Informasi Islam. Penulis berpengalaman kerja praktek di Wilmar Internasional Ltd pada tahun 2013. Pada akhir studi penulis memilih Laboratorium Elektrokimia dan Korosi untuk pengerjaan Tugas Akhir Pra Desain Pabrik dengan judul, 'Pra Desain Parik Phthalic Anhydride dari O-Xylene' dan skripsi dengan judul, 'Pemodelan dan Simulasi Baterai Lithium Ion'. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan pascasarjana di Program Magister Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mendapatkan gelar master setelah menyelesaikan tesis dengan judul 'Pemanfaatan Zeolit dan Silika Sebagai Membran Filtrasi Untuk Menurunkan TSS, COD dan Warna Limbah Cair Batik'. Penulis dapat dihubungi melalui noven.pramitasari@gmail.com.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)